

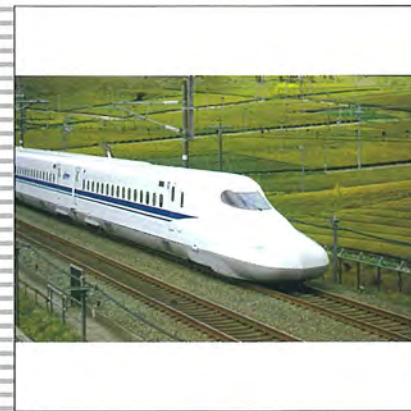
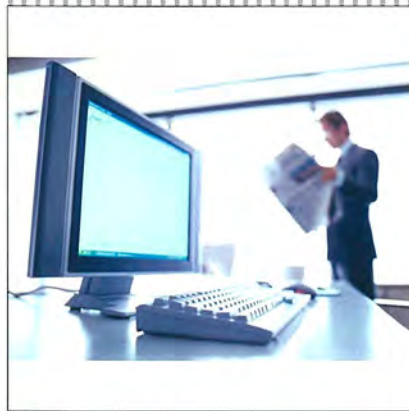
# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.83 No.6

2009

6

特集「暮らしを支えるネットワーク」



目 次

特集「暮らしを支えるネットワーク」

暮らしを支えるネットワーク特集に寄せて ..... 1  
中村元行

暮らしを支えるネットワークの現状と展望 ..... 2  
長瀬平明

高性能GE-PONシステムによるユーザー収容効率向上と  
適用分野拡大 ..... 7  
村上 謙・妻藤 憲・妹尾賢治・野上正道・能勢英樹

広帯域映像サービスを提供する  
GE-PON映像受信機能一体型ONU (GV-ONU) .....12  
木田等理・後藤秀樹・藤枝 亮・中川潤一・杉立厚志

東海道新幹線デジタル列車無線システム .....17  
岩永伸理・千田晴康・越馬 淳・久保博嗣

東海道新幹線N700系列車内インターネット用 .....21  
無線LANアクセスポイント  
杉浦哲広・上田靖史・中岡正喜

モバイルWiMAX基地局用高効率・低歪み電力増幅器 .....26  
堀口健一・山内和久・竹下盛泰・木村 仁・林 亮司

監視映像の遠隔配信技術 .....30  
野田忠義・中島宏一・川村秀男・平松隆宏

次世代統合オペレーションシステム“MELOpS” .....34  
松下年伸・小林 敦・土田 充・馬場義晶・高井伸之

一般論文

太陽電池モジュールの輸送効率改善 .....39  
島崎晃治

住宅用太陽光発電システムモニタ“エコガイドTV” .....43  
春日井 誠・西 大海

新型炭酸ガスレーザ加工機“HV II シリーズ” .....47  
加野潤二・山奥弘晃

加速器の超コンパクト化技術 .....51  
田中博文

Network for Life and Society

Foreword to Special Issue on Network for Life and Society  
Motoyuki Nakamura

The Current Status and Future Scope of Network for Life and Society  
Yoshiaki Nagase

High Reliable GE-PON System for Next Generation Service  
Ken Murakami, Ken Saito, Kenji Senoo, Masamichi Nogami, Hideki Nose

Video Capable GE-PON ONU (GV-ONU) for Broadband Video Distribution Service  
Toshimichi Kida, Hideki Goto, Tasuku Fujieda, Junichi Nakagawa, Atsushi Sugitatsu

Digital Train Radio System for Tokaido Shinkansen  
Shinri Iwanaga, Haruyasu Senda, Jun Koshiba, Hiroshi Kubo

Wireless LAN Access Points for Tokaido Shinkansen the Series N700 Internet Service  
Tetsuhiro Sugiura, Yasushi Ueta, Masaki Nakaoka

High Efficiency Low Distortion Power Amplifier for Mobile WiMAX Base Stations  
Kenichi Horiguchi, Kazuhisa Yamauchi, Moriyasu Takeshita, Hitoshi Kimura, Ryoji Hayashi

Video Distribution for CCTV Surveillance System  
Tadayoshi Noda, Koichi Nakashima, Hideo Kawamura, Takahiro Hiramatsu

Next Generation Integrated Operations System“MELOpS”  
Toshinobu Matsushita, Atsushi Kobayashi, Mitsuru Tsuchida, Yoshimasa Baba, Nobuyuki Takai

Improvement for Transportation of Photovoltaic Modules  
Koji Shimasaki

"Eco Guide TV" : Residential Photovoltaic Power Generation System Monitor  
Makoto Kasugai, Omi Nishi

New CO<sub>2</sub> 2D Laser Processing System "HV II Series"  
Junji Kano, Hiroaki Yamaoku

Ultra-compact Palm-sized Accelerator  
Hirofumi Tanaka

特許と新案

「PONシステム」「送信電力制御方式」 .....55

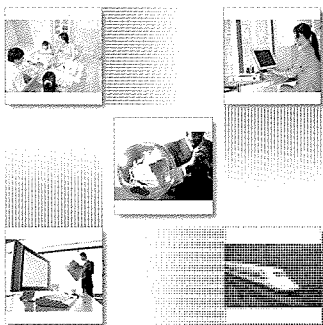
「監視用画像処理装置」 .....56

表紙：ネットワーク社会に貢献する技術

通信技術の発展による世界のボーダレス化や、社会のユビキタス化の中、三菱電機では有線及び無線ネットワーク用の機器やシステムを取り扱っている。

顧客に信頼される各種ソリューションの提供を通して、効率的な企業経営や暮らしやすい社会の実現を目指す。

表紙では、三菱電機製品が暮らしを支えるネットワーク社会に貢献しているシーンをイメージ化している。

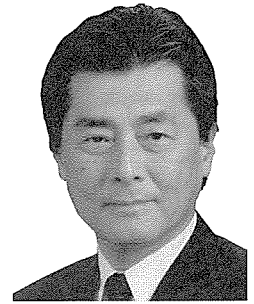


## 暮らしを支えるネットワーク特集に寄せて

Foreword to Special Issue on Network for Life and Society

中村元行

Motoyuki Nakamura



1990年代にインターネットが商用化されて、ライフスタイルや企業のビジネスモデルを大きく変えてきたように、ネットワークは人々の生活に深く浸透し、社会活動に欠くことのできない存在となった。我が国では2001年に策定された“e-Japan戦略”をはじめとするIT戦略に基づきネットワークインフラが整備され、その結果、世界で最も高速で低廉なブロードバンドサービスが国民に提供され、新たな利活用の創出、ユビキタス社会に向けた取組みが進んでいる。

このようなネットワークの進展の中で三菱電機は、強みである世界最先端の光通信技術を駆使したFTTH(Fiber To The Home)関連製品を国内主要通信事業者に提供してきた。光ファイバ回線の契約数は、2008年には1,400万を超える規模<sup>(注1)</sup>となったが、この普及要因の一つとして経済性を追及したマルチポイント接続のPON(Passive Optical Network)技術の進展が挙げられる。PON技術は1990年代から開発が始まり、当初は伝送速度が100Mbps以下であったが、SDH(Synchronous Digital Hierarchy)のハイアラーキに則して帯域を伸ばしていき今や1~2 Gbpsを達成している。この成果を実現するまでに、1980年代に中継回線が光化され始めてから実に20年以上もの長い年月が経過したことになる。この間の多くの諸先輩の知恵と努力が実を結んだ結果であり、長年開発に携わった一人として大変感慨深く思う。

さて、総務省によると我が国のブロードバンド契約者のダウンロードトラフィック総量が約990Gbps<sup>(注2)</sup>となり、ここ3年間で2倍以上の勢いで増加しているとのことである。当社は今後も継続するブロードバンド需要の拡大にこたえるため、更なる広帯域化に向けた開発に取り組んでいるが、例えば先に述べたPON技術については、2010年ごろの伝送速度10Gbpsの実用化を目指して開発中である。すでに敷設済みの光ファイバを活用するため、既存ユーザーを収容しつつ10倍に高速化することが課題である。この課題に対して、上りは時分割多重方式によって複数の信号が衝突しないように送出タイミングを制御し、下りは1Gbpsと10Gbpsで異なる光波長を用いて多重化してデー

(注1) 2008年12月現在で約1441万契約(総務省公表値)

(注2) 2008年11月現在のトラフィック総量(総務省推定値)

タを伝送する方式を用いた試作システムを当社はすでに開発済みであり、実用化に向け大きく前進している。

一方、モバイルネットワークもユビキタスネットワーク社会の実現に向けて高速・大容量化が着実に進展している。電波は、時空的に有限な資源であることから、比較的高速・大容量化は困難であったが、第2世代携帯電話のPDC(Personal Digital Cellular)による2,400bpsから今日の第3世代携帯電話のHSDPA(High Speed Downlink Packet Access)による7.2Mbpsと、様々な技術開発や高周波数帯の利用を通じて進化してきた。今後WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)や次世代PHS(Personal Handyphone System)による高速モバイル通信サービスや、2010年の第3世代携帯電話を進化させたLTE(Long Term Evolution)のサービスが予定されており、モバイルネットワークの通信速度がFTTH並みになるのは時間の問題である。

当社が開発したW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)フェムトセル用超小型基地局は、ブロードバンド回線に接続することで容易に設置できるため、ビルの奥や地下などの電波の届きにくかった場所での携帯電話サービス提供に寄与する。また、有線と無線の融合を促進し、いつでも・どこでも情報を交換できるユビキタスネットワーク社会の実現に貢献する切り札として期待されている。当社は、無線装置開発で培った高速化技術、低消費電力技術を生かして更に高性能な無線システム用基地局を開発し、多様化・高度化するモバイル通信サービスを支えていく。

今回の“暮らしを支えるネットワーク特集”では、当社が開発した有線・無線ネットワーク関連技術と、その技術を活用した製品やシステムの一部を紹介する。当社では製品やシステムを通じて安心して豊かなネットワーク社会の実現に向けた取組みを継続するとともに、今後も品質要求に厳しい市場にこたえるディペンダブルなネットワークベンダーとして次世代のネットワークの構築に貢献していく所存である。引き続き、読者各位のご指導ご鞭撻(べんたつ)をいただければ幸いです。



長瀬平明\*

# 暮らしを支えるネットワークの現状と展望

The Current Status and Future Scope of Network for Life and Society

Yoshiaki Nagase

## 要旨

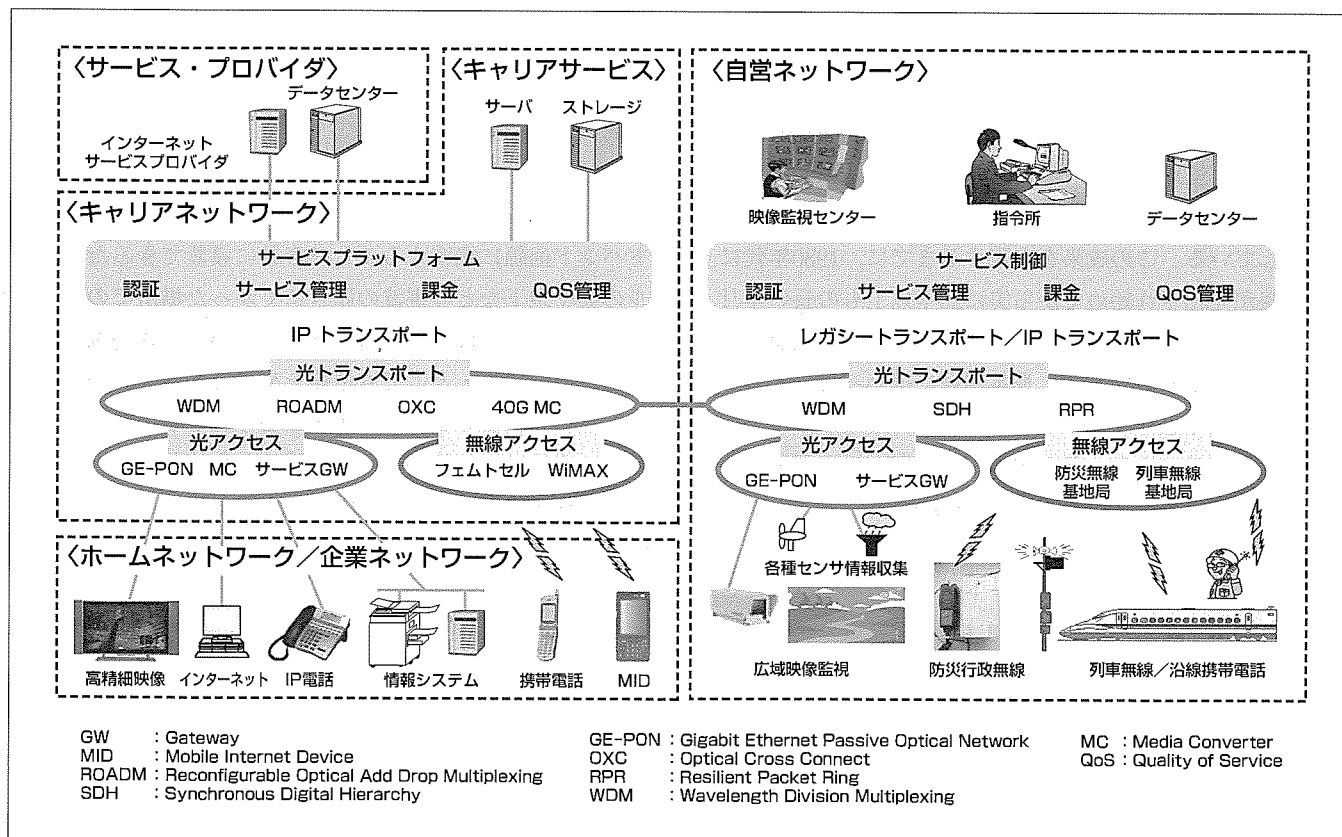
有線ネットワークに加えて、携帯電話を中心に無線ネットワークが急速に進展し、高速で大容量なサービスが場所を選ばず享受できる環境が整備されつつある。これによって、ユーザーのサービス利用形態がますます多様化するとともに、高度化しつつある。

今後サービス開始が予定されているモバイルWiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access), LTE(Long Term Evolution), 4G(第四世代携帯電話システム)等のより高速、大容量な無線サービスは、ユーザーが享受できるサービスがより進化できる強いインパクトを持ったサービスとなる。また、これらを支える有線系のコア・アクセス方式として、光とIP(Internet Protocol)が

統合された新たな光アクセス、光トランスポート、IPトランスポートインフラの整備が進む。

有線系と無線系のシステムは今後IPで統合され、ユビキタスサービスとして、有線・無線の区別なく、様々な利用シーンで当たり前の技術として広く人々の暮らしを支えていくことが期待される。

三菱電機は、これまでに蓄積した光技術、高速無線技術等を活用し、新サービスの展開に向けたユビキタスサービスインフラの技術開発、製品開発を進め、人々の暮らしを支える高度な社会インフラとしてのネットワーク作りを担っていく。



## 暮らしを支えるネットワークの実現例

IPトランスポート主体で構成される「キャリアネットワーク」と、レガシートランスポートとIPトランスポートが混在する「自営ネットワーク」は、IPベースの光トランスポートネットワークを介して接続され、IP統合ネットワークを構成する。ホーム/企業/業務の用途や、有線/無線の接続方法にかかわらず、様々な利用シーンに対して自在にサービス提供を可能とするユビキタスサービスインフラの構築を実現する。

## 1. ま え が き

我が国の非音声系サービスは、従来の電話網によるファクシミリサービスに加え、1985年ごろからダイヤルアップによるデータ通信、電子メールが利用され、1995年ごろからはインターネットの一般への普及が始まった。

2000年ごろからCATV(Common Antenna TeleVision)網やADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)等によるネットワークの高速化が進展し、パソコンの高機能化も相まって本格的なインターネット社会が到来した。

一方、携帯電話は1995年ごろから一般に普及し始め、1999年ごろからは携帯電話による電子メールやインターネットアクセス等のサービスが急速に立ち上がり、パソコンを使用しない携帯電話を主とするモバイルインターネット社会が到来した。今後、端末の多様化、高性能化の進展と相まって、ネットワークサービスがFMC(Fixed Mobile Convergence)によって統合され、いわゆるユビキタスネットワークサービスとして、更なる進化が期待されている。

近年、我が国のキャリアネットワークで、世界の先頭を切ってNGN(Next Generation Network)サービスの導入が開始された。従来のネットワークに比べて、サービス品質を保証しつつ、より多様なサービスを、経済的かつ効率的に提供できる、オールIPベースの統合化ネットワークシステムが、急速に整備され始めている。

モバイルネットワークでは、従来の3G携帯電話サービスに加え、より高速、広帯域の、モバイルWiMAX、次世代PHS(Personal Handyphone System)サービスが順次導入開始される予定である。

さらに2010年ごろには、3G携帯電話の次世代版(3.9G)とされるLTEの導入が開始される予定であり、モバイルサービスは、ユーザーが高速、大容量な複数の無線ネットワークから自由に選択でき、多様なサービスを楽しむことができるようになることが想定される。

加えて、有線・無線のサービスが統合され、ユビキタスサービスとして、有線・無線の区別なく、様々な利用シーンに当たり前の技術として広く使用され、人々の暮らしを支えていくことが期待される。

無線サービスを支えるインフラとして、高品質なNGNをはじめとする新たな光アクセス、光トランスポート、IPトランスポートインフラの整備が進むと想定される。また、自営系のネットワークにおいても同様の進化が期待されている。社会活動を支える自営系ネットワークでも、IP統合化、高速・大容量化、高信頼化の革新技術を取り込み、便利・快適で、安心・安全が確保されたインフラを実現するネットワーク構築が進められている。

本稿では、このような暮らしを支えるネットワークの現状と展望を当社の取り組みも含めて述べる。

## 2. キャリアネットワーク

### 2.1 光ネットワーク

#### 2.1.1 光コアネットワーク

我が国では、従来コアネットワークの光伝送系には、SDH(Synchronous Digital Hierarchy)準拠光伝送装置によるポイント・ツー・ポイント伝送やリング構成ネットワークが主に適用されてきた。近年、DSL(Digital Subscriber Line)を皮切りに現在主流になっているブロードバンド光アクセスの急速な導入で、コア系のトラフィックが急速に増加し始め、コア系ネットワークの需要が再び活況を呈する状況になりつつある。主要な国内ISP(Internet Service Provider)を流れるインターネットトラフィックが、直近3年で約2.5倍になるなど飛躍的な増加を示しており<sup>(1)</sup>、特に今後、従来のP2P(Peer to Peer)トラフィックに加え、You Tubeなどの動画配信サイト、映像コミュニケーションサービス等の動画系トラフィックの増加で、この傾向が一層加速されることが予想される。

IP統合化と大容量化が進む中、100Gbpsイーサネット<sup>(註1)</sup>信号をいかに効率よく光コアネットワークに收容するかが今後の課題であり、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)で次世代のOTN(Optical Transport Network)フレームで転送する方式の議論が始まり、数年後には100Gbpsクラスのインタフェースをサポートする装置の出現も予想される。

これらの流れに対し、これまでの電気信号処理主体のネットワークノード装置に加え、従来開発蓄積してきた光領域での柔軟な処理技術(DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)、ROADM(Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer)、OXC(Optical Cross Connect)等)を適用し、低消費電力で、運用中のサービスに影響を与えることなく、トラフィック増へ経済的かつスケラブルな拡張を容易に実現させる装置の実用化導入が進められている。当社は10Gps×80波のROADMシステム“MF-800GW”を開発しており<sup>(2)</sup>、OXC技術<sup>(2)(3)(4)</sup>適用製品の開発にも取り組んでいる。

#### 2.1.2 光アクセスネットワーク

インターネットの普及と相まって、アクセスネットワークについては、ダイヤルアップからADSLへ、さらにIEEE(Institute of Electric and Electronics Engineers)802.3ahとして標準化されたGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)によって100Mbpsのユーザーインタフェースが低価格で提供可能になり、本格的なFTTH(Fiber To The Home)の普及が始まった。

サービスエリアの拡大とともに、ADSLからFTTHへ移

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス<sup>(株)</sup>の登録商標である。

行する利用者が増加し、2008年6月末には、光回線利用世帯数がADSL回線利用世帯数を抜き、光回線への移行が進展してきている。

現在推進されているNGNでは、映像配信、遠隔医療、映像コミュニケーション、テレワーク、介護・ヘルスケアなど、多様なアプリケーションへの対応が可能となり、優先制御、IP放送に向けた機能拡張等の更なる高機能化、高信頼化、広帯域化が進められている。また、社会インフラとなった光アクセスネットワークサービスを、地方でも都市部と同等にサービスを提供するための、いわゆるデジタルデバインド対策が求められている。

将来の光アクセスネットワークとして、インターネットトラフィックの急激な増大に対応し、次世代光アクセス装置10Gbps PONの標準化がIEEEとITU-Tで開始されており、既存GE-PONとの共存を想定した、マイグレーション・シナリオの標準化検討が進められている。

また、PON方式で使用されるポイント・ツー・マルチポイントネットワーク構成は、局側の1個の加入者インタフェースで複数の加入者を一括収容できるため、MC(Media Converter)等のポイント・ツー・ポイントネットワーク構成に比較し、局側設備の大幅な省スペース化・低消費電力化が実現できる。このため、PON方式は地球温暖化防止の観点からも将来的にますます有効なアクセスネットワークの構築方式として認識されるようになってきている。

当社は、これまで、FSAN(Full Service Access Network)、ITU-T、IEEE等の光アクセスネットワークに関する標準化活動の開始時から参画・貢献するとともに、関連製品の開発製品化を積極的に推進してきた。

現在、GE-PON装置に関しては国内外の多数の事業者採用され、市場ではトップクラスの納入実績を達成している。

移動体基地局のIP化が進められており、エントランスリンクにGE-PONを適用し、1本のファイバで複数の基地局を効率的に収容し設備コストを抑制させる、移動体基地局用GE-PON光アクセス装置も当社では製品化している<sup>(5)</sup>。

光アクセスネットワークに関連し、家庭内への入り口であるONU(Optical Network Unit)にホームゲートウェイを接続し、これを介し家庭内の映像・情報端末機器等と接続し、コンテンツ情報等の外部網へのアクセスや機器の制御を行うためのホームネットワークも普及しつつある。現在、ITU-Tにおける標準化活動で、ホームネットワークに関する検討が活発化しており、当社はホームゲートウェイを中心とする次世代ホームネットワークの構築に関する研究開発を積極的に進め<sup>(6)</sup>、関連する製品を順次提供していく所存である。

特集論文では当社の最新のGE-PONシステムの製品について述べる。

## 2.2 ワイヤレスネットワーク

### 2.2.1 セルラシステム

第三世代携帯電話システムの長期的な発展を目的としてLTEの検討が国際的に進められており、国内外で2010年ごろからの商用化が見込まれている。

LTEは、第三世代携帯電話に割当て済みの周波数を利用しつつ技術的革新を行うもので、無線方式にOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技術を採用した方式としていることなど、将来の第四世代携帯電話システム(IMT(International Mobile Telecommunications)-Advanced:通称4G)へのスムーズな移行を目指している。

LTEでは、ユーザーは無線でも有線のFTTH並みの高速通信が可能になり、さらにコア・ネットワークもオールIPで構成されるため、IPネットワークにもスムーズに接続が可能となる。

さらに、2007年世界無線通信会議(WRC-07)で新たに3.4GHz帯等が利用可能になり、この周波数を使った第四世代移動通信システムの実現に向けた標準化がITU-R(ITU-Radiocommunications Sector)で進められている。

第四世代移動通信システムでは、最大100Mbps程度(高速移動時)と1Gbps程度(低速移動時)の超高速データを用いた高品質なマルチメディア通信サービス、利用者の好みに応じて、いつでも、どこでもネットワークに接続できるユビキタス・サービスの提供が想定されている。

このような高速化を目指した取り組みと並行して、総務省が2007年に公表した“モバイルビジネス活性化プラン”の具体的施策の中にも挙げられたように、フェムトセル基地局の実現に向けた取り組みが進められている。

フェムトセル基地局は、従来の携帯電話の基地局を小型化し、家庭内のブロードバンド回線を介してネットワークに接続できるようにしたシステムである。

フェムトセル基地局導入のメリットは図1にも示すように大きく二つある。

一つは、極小セル化による電波の利用効率の向上である。

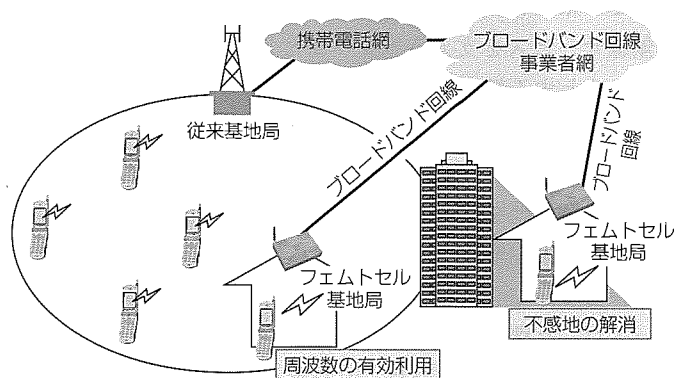


図1. フェムトセル基地局導入のメリット

フェムトセル基地局では家庭内等の極小エリアで無線インタフェースの伝送能力を最大限生かすことができると同時に、場所的に電波を繰り返し利用して電波を効率的に利用できる。

もう一つは、有線ブロードバンド回線を活用して、より緻密(ちみつ)に携帯電話のエリアを作ることができる点である。高層ビルの中など電波の届きにくいところでも、フェムトセル基地局を用いればブロードバンド回線を引き込んで柔軟に携帯電話のエリアとすることが可能となる。

当社は、2007年7月から“フェムトセル用超小型基地局装置”をNTTドコモに納入するとともに、更に高速化、低消費電力化等を目指した装置開発に取り組んでいる。

### 2.2.2 ブロードバンドワイヤレスアクセス

ブロードバンドワイヤレスシステムは、第三世代携帯電話(3G/3.5G)を上回る伝送速度を持つ無線システムとして、IEEEなどの国際標準化団体で規格が策定され、ITU-Rにおける標準化作業も進んで、国内外でその導入に向けた期待が高まっている。

IEEE 802.16eは、WiMAXを移動中の携帯端末でも使用できるようにしたもので、“モバイルWiMAX”と呼ばれ、時速120km程度までの移動に対応し、最大40Mbps程度の通信を行うことが可能である(図2)。

今後様々な情報端末にモバイルWiMAXが搭載されることが予想される。ノートパソコンに無線LAN(Local Area Network)が標準搭載されているように、モバイルWiMAXの搭載で、屋外や移動中でもADSLやFTTHなど固定系ブロードバンドと同様の高速データ通信をIPベースのネットワークの上で実現でき、携帯電話のビジネスモデルとは異なる新しい形の移動通信サービスが提供されることも期待されている。

## 3. 自営ネットワーク

### 3.1 デジタル列車無線システム

300km/h超で高速走行する新幹線列車と地上間の無線

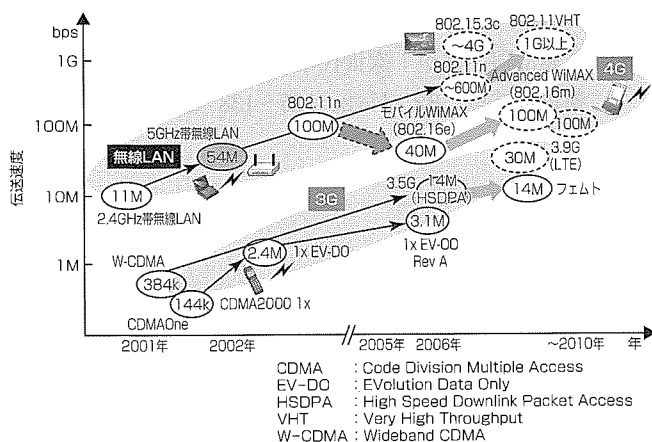


図2. ワイヤレスネットワークの発展動向

通信には、安全・安心の厳しい要求に対応するため、高速伝送、耐ノイズ性、高品質、高安定性が求められる。当社は、1964年の新幹線開業以来、空間波やLCX(Leaky Coaxial cable)による列車無線通信システムのトップメーカーとして、我が国のすべての新幹線列車無線システムに携わり、列車無線システムの技術・ノウハウを蓄積してきた。

2009年2月に運用開始された東海道新幹線デジタル列車無線システムでは、基地局~中継機間のネットワークに高周波光伝送(Radio On Fiber)技術を適用した無線セル方式を導入することによって、無線ゾーンを細分化し、一列車あたりの無線帯域を増加させるとともに、MIMO(Multi Input Multi Output)応用技術の適用によって、従来に比べて大容量化・高品質化を達成した。従来の指令通話、業務データに加えて、新たな旅客サービスとして車内インターネットサービスを実現した(図3)。また、東海道区間のデジタル無線方式と、山陽区間のアナログ無線方式をソフトウェア無線技術で切り替えることによって、無線機1台で実現した。これによって搭載スペースの大幅削減が可能となり、保守・運用性を向上させた。

特集論文では、東海道新幹線デジタル列車無線システム及び新幹線車内インターネットシステム用無線LANアクセスポイントについて述べる。

### 3.2 防災行政無線システム

防災行政無線システムは、地震、台風等の災害時の情報伝達手段として自治体に導入されているシステムで、市町村役場から住民へ災害情報や行政情報を伝える同報通信システムと、自治体の職員同士が市町村役場と災害現場間で連絡するための移動通信システムがある。いずれのシステムも自治体単位の独立したシステムであり、図4に示すように遠隔の無線機、受信機へは中継局を介した無線ネットワークによって延伸接続を実現している。

当社は、総務省、電波産業会での規格策定に参画し、デジタル同報無線システムの普及促進活動を積極的に行って

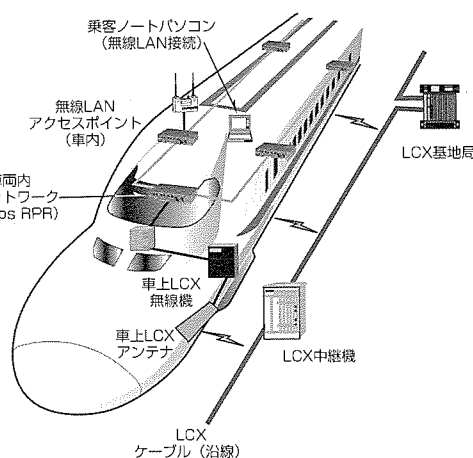


図3. 新幹線デジタル列車無線システムと車内インターネット

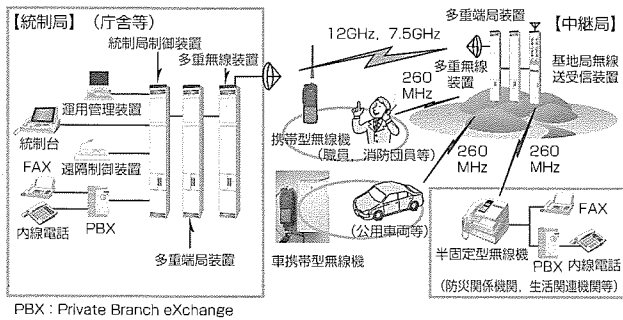


図4. 移動無線システムの全体構成

きた。2001年度には他社に先駆け国内初の60MHz帯デジタル同報無線システムを開発、納入し、その後、多数の自治体への納入実績を持つ。また、2008年度には260MHz帯デジタル移動無線システムの新機種を市場投入しており、今後の主力機種として展開する予定である。

### 3.3 映像監視システム

安全・安心に対する社会的ニーズが高まる中、当社ではこれまでアナログCCTV(Closed Circuit TeleVision)システム“MELOOK-G”、デジタルCCTVシステム“DIGITALMELOOK”を製品化し、豊富なラインアップによって様々な用途、環境へのソリューションを提供してきた。2008年には、メガピクセルの高画質・高解像度で、アナログカメラ並みの低コストを実現させたデジタルCCTVシステム“MELOOK $\mu$ ”を新たにシリーズ化し、コンビニエンスストアのローカル映像監視等に広く適用されている。

これまで映像監視は、範囲が限定されたローカルネットワークでの適用が主流であったが、近年、通信インフラのブロードバンド化、回線コスト低下を背景にネットワークを介した遠隔映像監視のニーズが高まっており、MELOOK $\mu$ シリーズでは、2009年3月から遠隔映像配信機能を追加サポートしている。今後は、広域ネットワークを介した遠隔映像監視の分野にも注力していく予定である(図5)。

特集論文では、MELOOK $\mu$ シリーズで採用されている監視映像の遠隔配信技術について述べる。

## 4. む す び

暮らしを支えるネットワークの関連技術として、光ネットワーク、ワイヤレスネットワーク、デジタル列車無線シ

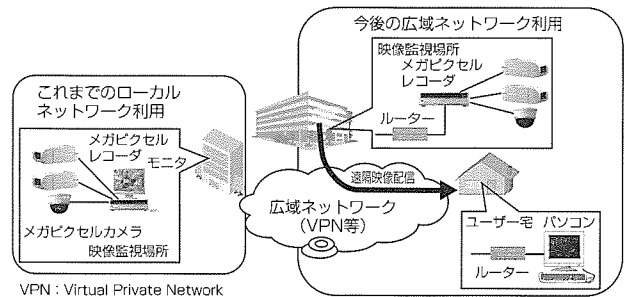


図5. 三菱映像監視システムにおけるネットワーク利用形態

ステム、防災行政無線システム、映像監視システムの各分野における当社の取り組みについて述べた。それぞれの詳細は、後続の特集論文を参照いただきたい。

当社は2007年に“環境ビジョン2021”を策定し“地球温暖化防止”と“循環型社会”に向けた取り組みを開始した。ネットワークの利活用等によるCO<sub>2</sub>削減貢献事業の拡大等の取り組みも展開中である。ユビキタス化し多様化するネットワークサービスの需要増加への対応と、サービスの高度化、快適で安心して使えるネットワークサービスの実現に向け、今後もより一層の技術力の向上、研鑽(けんさん)に取り組む所存である。

## 参考文献

- (1) 総務省：平成20年度版情報通信白書，141 (2008)
- (2) 尾崎陽二郎，ほか：次世代ネットワーク用波長多重システム，三菱電機技報，82，No.2，155～158 (2008)
- (3) Yoshida, S., et al.: A study on fault recovery of optical paths in photonic cross-connect systems, Technical Digest of 12th OptElectronics and Communication Conference(OECC2007), 13A-1, (2007-7)
- (4) 堀内栄一，ほか：大容量・高信頼フォトニックネットワークに適用するPXCの検討と開発，電子情報通信学会技術研究報告PN2006-86，21～24 (2007)
- (5) 成田健一，ほか：次世代ネットワーク用光アクセスシステム，三菱電機技報，82，No.2，159～162 (2008)
- (6) 佐藤浩司，ほか：次世代ホームネットワーク技術，三菱電機技報，82，No.2，135～138 (2008)



# 高機能GE-PONシステムによる ユーザー収容効率向上と適用分野拡大

村上 謙\* 野上正道\*\*  
妻藤 憲\* 能勢英樹\*\*  
妹尾賢治\*

High Reliable GE-PON System for Next Generation Service

Ken Murakami, Ken Saito, Kenji Senoo, Masamichi Nogami, Hideki Nose

## 要 旨

光アクセス回線を用いたブロードバンドサービスの提供が着実に普及している。中でも、GE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムによるFTTH(Fiber To The Home)サービスは、一戸建て及び集合住宅に広く普及し、ユーザーが急増している。次世代ネットワークでは、固定・移動統合(Fixed Mobile Convergence: FMC)サービス、地上デジタル放送のIP(Internet Protocol)再送信や高精細映像伝送といったサービスの多様化、トラフィックの増加が予想される。これに伴い、様々な通信品質要求のトラフィックがアクセス網でやり取りされる。

三菱電機は、これまで多くの通信事業者のFTTHサービスに向けGE-PONシステムを提供してきた。次世代ネットワークへの対応の一環として、これまで培った光アクセス技術をベースに、高機能GE-PONシステムを開発した。

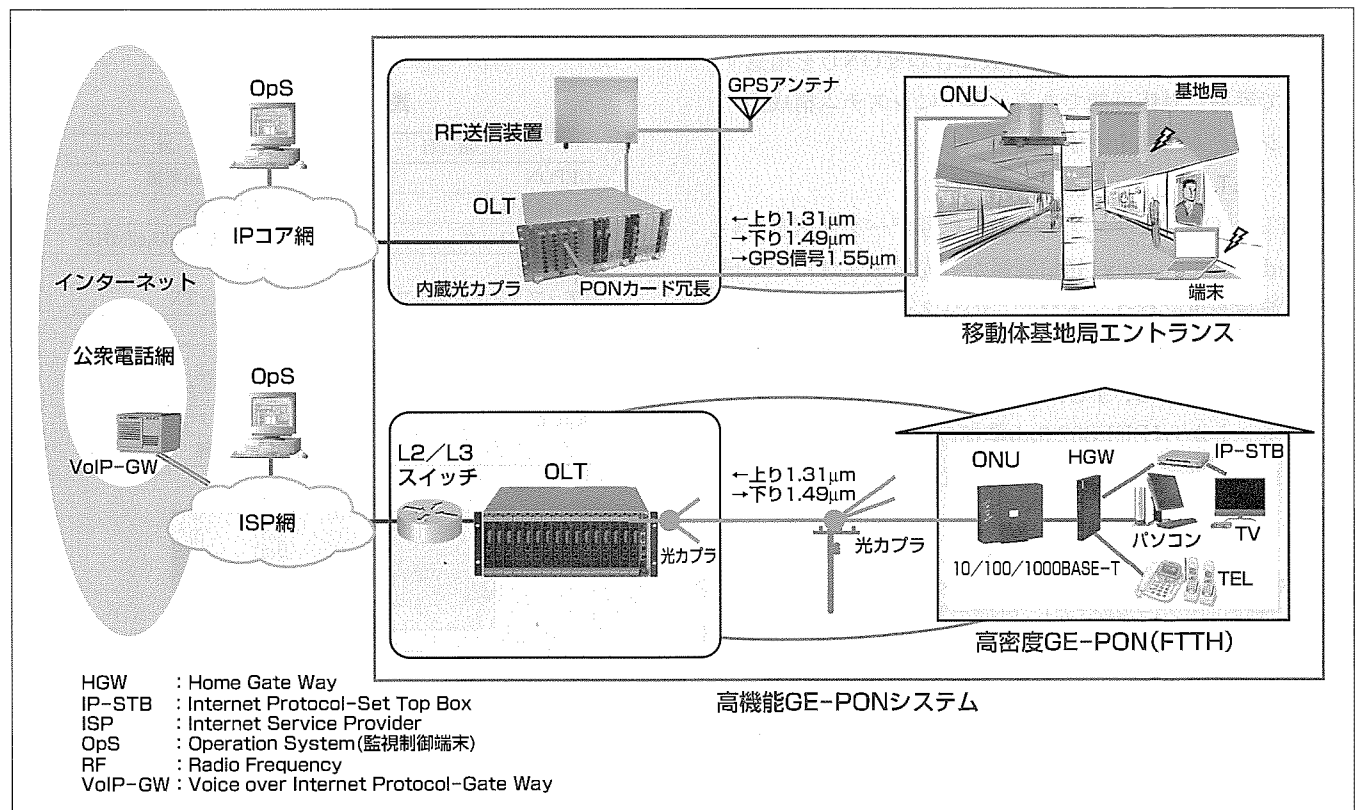
### (1) 移動体基地局エントランスシステム

FMC サービスに適用可能な次世代GE-PONシステムを開発した。イーサネット<sup>(注1)</sup>による上位ネットワークとの通信を行う移動体基地局収容を目的とし、アクセス回線の冗長化による高信頼化、GPS(Global Positioning System)信号の多重配信によって、GPS光伝送を実現し、光回線による経済的な基地局収容を実現した。

### (2) 高密度GE-PONシステム

OLT(Optical Line Terminal)で、従来のGE-PONシステムに対し、ユーザー側及び上位網側の接続回線数を倍増し、ユーザー収容の効率化を実現した。ONU(Optical Network Unit)は、内部での光ファイバ余長処理を不要とし、ワンタッチで光ファイバ接続を可能とすることによって、設置工事の簡略化を実現した。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス<sup>(株)</sup>の登録商標である。



## 高機能GE-PONシステム

今回開発した移動体基地局エントランスシステムは、OLTの高信頼化とGE-PONと同じ光伝送路上へのGPS信号の多重配信を実現し、基地局の光回線収容を経済的に実現した。また、高密度GE-PONシステムは、光回線及び上位網との接続回線を倍増し、ユーザー収容の効率化(収容数倍増)を可能とした。

1. ま え が き

国内の主要な通信事業者によって、ブロードバンドサービスの提供が着実に普及している<sup>(1)</sup>。今後もユーザー数は着実に増加する見込みである。また、光アクセス技術の進展に伴い、一般ユーザーへのFTTHのみならず、次世代ネットワークでは、固定・移動統合サービス、地上デジタル放送のIP再送信や高精細映像伝送といったサービスの多様化、トラフィックの増加が予想される<sup>(2)</sup>。

本稿では、次世代ネットワーク用光アクセスシステムを構成する光アクセスシステム(高機能GE-PONシステム：①移動体基地局エントランスシステム、②高密度GE-PONシステム)の特長及び製品概要について述べる。

2. 移動体基地局エントランスシステム

2.1 移動体基地局エントランスシステムの概要

このシステムは、移動体基地局とコア網間の主信号データ及び基地局用GPS信号の光信号による中継伝送を特徴としている。GPS信号は、1.5 $\mu$ m帯波長に光変換し、既存GE-PONシステムに波長多重した3波多重システムである。①OLT、②RF送信装置、③ONU、④監視制御端末(OpS)の4装置より構成される。GPS信号の光化によってGPS信号の延伸を容易にし、基地局設置の柔軟性が向上する。また、GE-PONシステムによる配線集約化によって収容基地局数の増減に対し上位回線/インタフェース盤を新たに追加することなく基地局数に合わせONUを用意することで容易に対応可能である。図1にシステム構成図、表1にシステム諸元を示す。

2.1.1 OLT

OLTは、ONU及びコア網との主信号データ通信を行い、RF(Radio Frequency)送信装置から光伝送されたGPS信号との波長多重を行う。また、このシステムの監視制御機能を持つ。OLTの外観を図2に示す。

- (1) 主信号データは、PONインタフェース盤によってイーサネットからIEEE802.3ah準拠のGEPON方式にメディア変換され、上下1.25Gbpsの速度でONUと通信する。

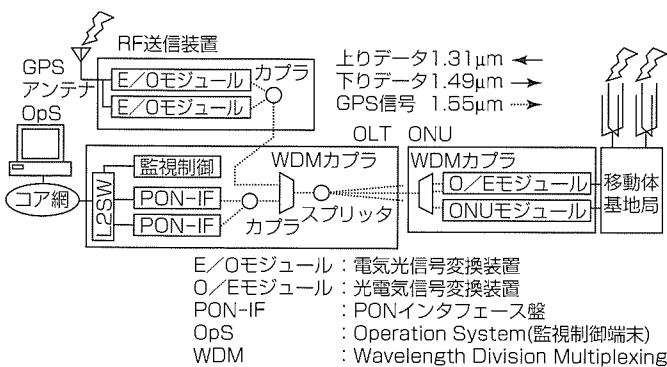


図1. システム構成

- (2) RF送信装置から受信したGPS信号は、内蔵のWDM (Wavelength Division Multiplexing)カプラで波長多重しONUに伝送する。
- (3) PONインタフェース盤(PON-IF)は、光カプラによる1:1冗長構成によって高信頼化を実現した。光回線(PONインタフェース盤)障害時には、予備系に自動切替えを行う。
- (4) レイヤ2スイッチ(Layer 2 Switch:L2SW)を内蔵し、主信号及び監視制御信号を集約し、100BASE-TXで上位回線に接続し、監視制御信号をインバンドで送信している。
- (5) 最大64分岐の光スプリッタを同一筐体(きょうたい)に実装を可能とした。

2.1.2 RF送信装置

RF送信装置は、GPS信号を光変換し出力する。RF送信装置の外観を図3に示す。

- (1) GPSから受信したL1信号(1575.42MHz)を1.5 $\mu$ m帯波長の光信号に変換し、光RF信号としてOLTに送信する。光変換には、冷却素子内蔵のCooledレーザダイオードモジュール(Cooled LD)ではなく、安価で冷却素子非内蔵であるUnCooledレーザダイオードモジュール(Un-Cooled LD)を採用している。
- (2) E/Oモジュールは、光カプラによる1:1冗長構成によって高信頼化を実現した。E/Oモジュール障害時には、予備系に自律切替えを行う。

表1. 主要諸元

項目	仕様
GEPON	IEEE802.3ah準拠
光回線速度	上下共: 1Gbps
網同期クロック	GPS(L1波: 1575.42MHz)
集線機能 (アップリンクインタフェース)	L2SW 100BASE-TX
伝送距離	10km
最大収容ONU数	64
冗長化	GPSクロック
	PONインタフェース
	OLT電源部

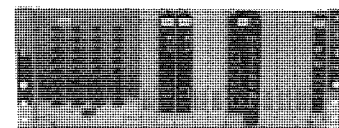


図2. OLTの外観

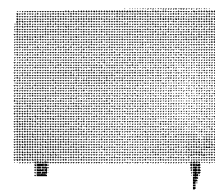


図3. RF送信装置の外観

- (3) 電気二重層コンデンサ採用による電源瞬断対策を実施した。
- (4) 防水4級筐体採用による軒下等設置可能な半屋外仕様である。

### 2.1.3 ONU

ONUは、OLTと基地局間の主信号データ通信を行い、RF送信装置から受信したGPS信号を基地局に伝送する。ONUの外観を図4に示す。

- (1) 光伝送された主信号データ及びGPS信号は内蔵のWDMカプラによって波長分離され、ONUモジュールとO/Eモジュールに入力する。
- (2) 主信号データは、ONUモジュール内PON制御部でイーサネットからIEEE802.3ah準拠のGEPON方式でメディア変換され、OLT及び基地局と通信する。
- (3) GPS光信号はO/Eモジュールで光信号から電気信号に変換され、RF同軸ケーブルで基地局に送信する。
- (4) O/EモジュールとONUモジュールを1枚化し、小型化を実現した。

### 2.1.4 監視制御端末(Ops)

OLTと接続し、このシステムの監視制御を実現する監視制御端末である。OLT128台の同時監視を汎用パソコン上で動作可能とし経済的にこのシステムの監視が可能である。

## 2.2 移動体基地局エントランスシステムの特長

### 2.2.1 GPS信号の光化

GPS信号の光化には、ROF(Radio On Fiber)技術を活用した。GPS信号は、ダイナミックレンジが広く、信号レベルが低い特徴がある。GPS信号を劣化なく移動体基地局に伝送するためには、E/OモジュールのGPS信号増幅部で約95dBの非常に高い利得が必要である。実現のため、GPS信号増幅部は多段増幅構成を必要とし、微小ノイズや信号の回り込み等による発振で安定動作が困難な点が、課題として挙げられる。

対策として、電気部品のレイアウトの工夫、多段増幅部への個別シールド構造採用によってアイソレーションを確保することで、-20~70℃の広温度範囲での安定動作、10kmの伝送性能の確保を実現した。また、GPS信号の光化には、安価なUnCooled LDを採用することで経済化を実現している。図5に回路ブロック図、図6にGPS光信号のレベルダイヤを示す。

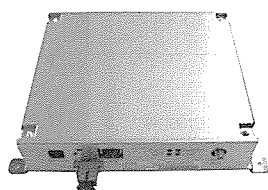


図4. ONUの外観

### 2.2.2 光回線の冗長化

このシステムでは、冗長化されたPON-IFの選択部として、光カプラ採用によって光スイッチよりも高経済性及び高信頼性を確保した。また、光回線(PONインタフェース盤)障害発生時に自動切替えによる保守容易性を確保しているが、切替え時にONUのリンクアップ等の処理を行う。ONUのリンクアップに必要なDiscovery処理、認証データベース処理等の高速化を図ることによって、データ断時間の短縮化を図った。

### 2.2.3 経済化OLT

PON-IFは上位インタフェース(Network Node Interface : NNI)ポートを1ポート、また、監視制御盤にも監視制御端末と接続するためにLAN(Local Area Network)インタフェースポートを1ポート具備している。それぞれを上位ネットワークに接続すると回線費用が増加するため、OLTにL2SWを内蔵し、集線化を図った。また、PONインタフェース盤とONUを接続するために光スプリッタを使用するが、OLTとは別に用意すると設置面積が増大する等のコロケーションの費用増加を招く。OLTに最大64分岐の光スプリッタを内蔵可能とし、経済化OLTを実現した。

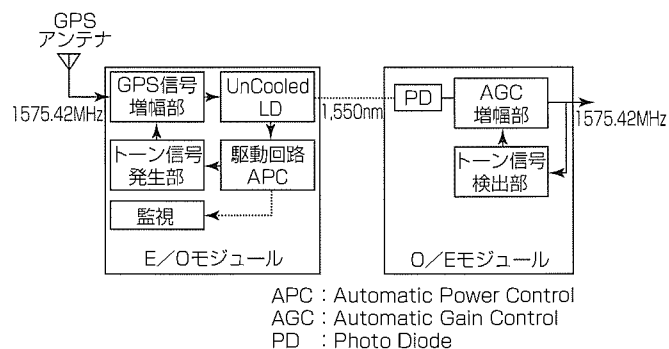


図5. GPS信号伝送部のブロック図

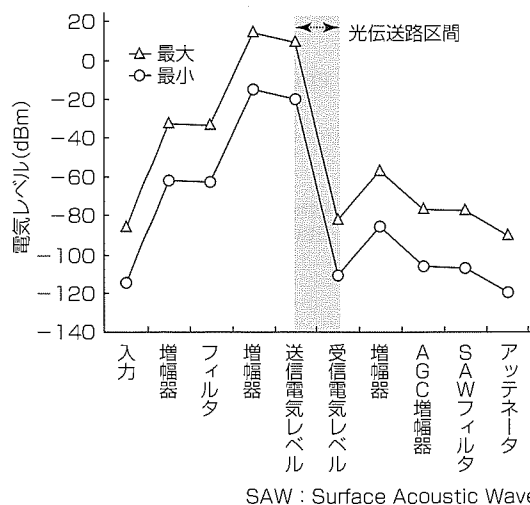


図6. GPS光信号のレベルダイヤ

### 3. 高密度GE-PONシステム

#### 3.1 高密度GE-PONシステムの目的

固定・移動統合サービス、地上デジタル放送のIP再送信や高精細映像伝送といったサービスの多様化、トラフィックの増加に対する需要が高まる中、光アクセスユーザー数は着実に増加する見込みである。ユーザー収容の効率化を目的として、ユーザー側接続回線収容密度倍増の高密度GE-PONシステムを製品化した。このシステムの主な特長を次に示す。

#### 3.2 光回線倍密度収容

##### 3.2.1 高密度化OLT

当社GE-PON OLTでは、光アクセスユーザーを収容する光回線及び上位網との接続回線(NNI回線)を、PON-IFあたり各1ポート実装している。光アクセスユーザー数増大に伴うユーザー収容の効率化、及び高速ダウンロードやデジタルコンテンツ視聴によるトラフィック増加に伴う上位回線収容の効率化のため、高密度化OLTでは、PON-IFあたり2ポートの光回線及びNNI回線を実装し、倍密度収容を実現した(64ONU/PON-IFを128ONU/PON-IFに倍増)。

高密度化OLTのブロック図を図7に、当社GE-PON OLTと高密度化OLTの主要諸元比較を表2に示す。

##### 3.2.2 OLT光送受信器小型化の実現

OLT光送受信器は、GE-PONシステム搭載品に対し、面積を47%に削減する小型化を達成し、2.2節で述べた光回線倍密度収容を実現した。小型化にあたっては、送信部から発生するクロストークノイズによって、受信部での受

信感度の劣化が課題であったが、電気部品のレイアウト及びシールドケース構造を最適化して、送信部と受信部のノイズアイソレーションによって課題を解消した。

OLT光送受信器の小型化を図8に示す。

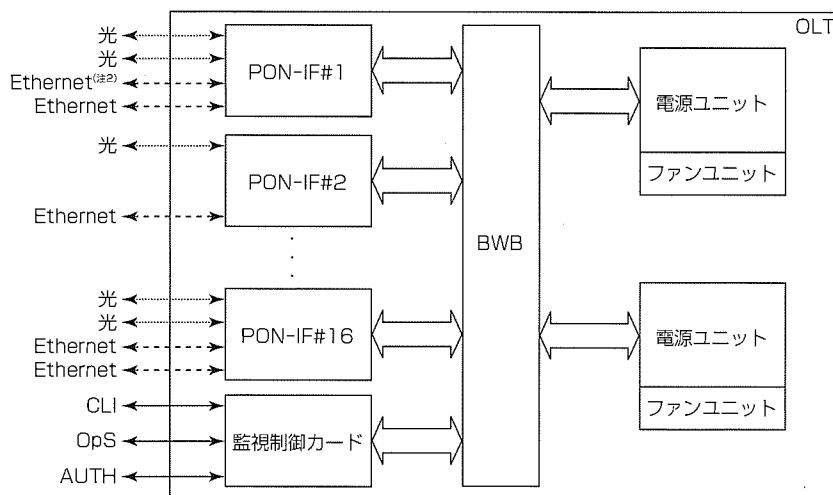
#### 3.3 ONU光ファイバ収容トレイ排除(トレイレスONU)による設置工事簡略化

GE-PONシステムONUは、光ファイバ接続コネクタをONU内部に実装していたため、設置時の光ファイバ余長処理を伴う構造となっており、ONU内部でのファイバの巻き込みやスプライス処理が必要で、複雑な工事内容であった。

表2. GE-PON OLT/高密度化OLTの主要諸元比較

項目	GE-PON OLT	高密度化OLT
PON-IF		
最大収容枚数	16枚/OLT	16枚/OLT
光回線数	1ポート (16ポート/OLT)	2ポート (32ポート/OLT)
光回線速度	上り1Gbps 下り1Gbps	上り1Gbps 下り1Gbps
伝送距離	20km	20km
最大収容ONU数	64 (1024ONU/OLT)	128 (2048ONU/OLT)
最大収容端末数	1024 (16384端末/OLT)	2048 (32768端末/OLT)
NNI回線数	1ポート (16ポート/OLT)	2ポート (32ポート/OLT)
監視制御カード		
監視制御ポート数	1	1
監視制御プロトコル	SNMP v1機能/ Telnet機能	SNMP v1機能/ Telnet機能

SNMP : Simple Network Management Protocol



AUTH : AUTHentication  
 BWB : Back Wiring Board  
 CLI : Command Line Interface  
 OpS : Operation System(監視制御端末)

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

図7. 高密度化OLTのブロック図

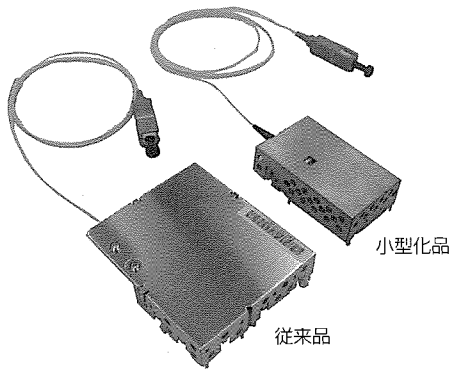


図 8. OLT光送受信器の小型化

2GE-PONシステムONUでは、光ファイバ接続コネクタの実装位置を変更し、ふたの取り外しのみで光ファイバ接続可能とする実装位置とした(図9)。これによってONU内部での光ファイバ余長処理を不要とし、ワンタッチで光ファイバ接続を可能とすることで、設置工事の簡略化を実現した。

#### 4. む す び

高機能GE-PONシステムによる適用分野拡大の一例として移動体基地局エントランスシステムについて、ユーザ

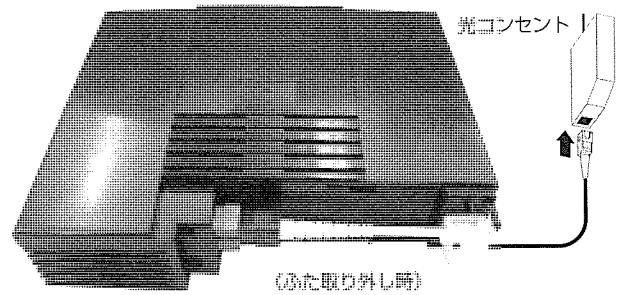


図 9. トレイレスONUの光ファイバ接続

ー収容効率向上として高密度GE-PONシステムについて述べた。

高機能GE-PONシステム開発で培った光アクセス技術をベースに、今後、高機能GE-PONシステムの更なる適用分野拡大を図っていく。

#### 参 考 文 献

- (1) 総務省：情報通信統計データベース，ブロードバンドサービス等契約者の推移（2008-6）
- (2) 下笠 清，ほか：光アクセスシステムのトレンドと発展，三菱電機技報，80，No.2，112～116（2006）

# 広帯域映像サービスを提供する GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)

木田等理\* 中川潤一\*\*  
後藤秀樹\* 杉立厚志\*\*  
藤枝 亮\*

Video Capable GE-PON ONU (GV-ONU) for Broadband Video Distribution Service

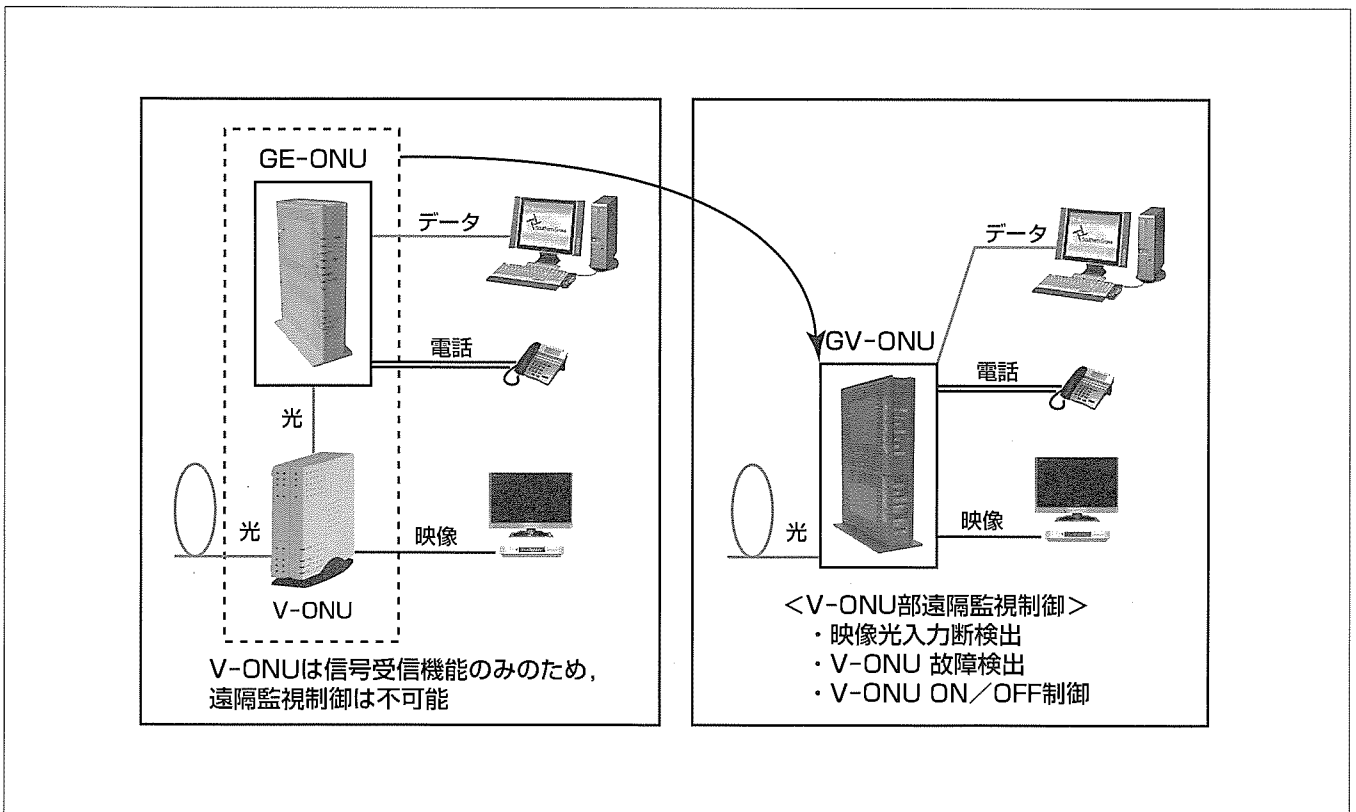
Toshimichi Kida, Hideki Goto, Tasuku Fujieda, Junichi Nakagawa, Atsushi Sugitatsu

## 要 旨

2004年から開始されたGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)技術を用いたFTTH(Fiber To The Home)サービスは、コンテンツダウンロード等の高速インターネット接続に加え、基本料金及び従量制料金が安価なIP(Internet Protocol)電話によって急速に拡大してきた。今後一層の発展の鍵(かぎ)を握るのが、映像配信を含めたトリプルプレイサービスの普及である。FTTH上で映像配信サービスを提供するための技術には、デジタル化した映像をIPパケット化して伝送するIP方式と、映像をRF(Radio Frequency)信号のままインターネットや音声のデータとは別波長で配信するRF方式がある。前者はVOD(Video On Demand)やカラオケ等を含む映像複合サービスに強い一方、後者は劣化の少ない高品位画質伝送に適するとともに、IP-STB(IP Set Top Box)を必要とせず、

V-ONU(Video-Optical Network Unit)のRF端子を直接テレビに接続することで地上波テレビ放送の再送信が視聴できるなど、それぞれ特長を持つ。

三菱電機では、2004年からインターネット接続、IP電話、IP方式の映像配信サービスに適用可能なGE-PON-ONU(以下“GE-ONU”という。)を提供してきたが、今回、日本電信電話(株)のご指導によって、GE-ONUにV-ONUの機能を一体化することで、一つの装置でRF方式による配信映像の受信を可能にするとともに、GE-PONのOAM(Operation Administration and Maintenance)機能を用いることによって、従来不可能であった局側設備からのV-ONU遠隔監視・制御を可能とする、GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)を製品化した<sup>(1)</sup>。



## GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)を適用したトリプルプレイサービス

現在FTTHの主力であるGE-PONネットワークに、映像信号をRFのまま別波長で重畳配信することによって、IP-STBなしでトリプルプレイサービスを実現する。従来はGE-PON-ONUとV-ONUの2台の装置を必要としたが、GV-ONUを適用することで、ユーザー宅に設置が必要な装置を一体化して利便性を高めるとともに、V-ONU機能の遠隔監視・制御を可能とし、ネットワークオペレータの保守性向上が期待できる。

## 1. ま え が き

日本におけるFTTHによるブロードバンドサービスの普及は世界トップクラスであるが、米国におけるブロードバンドがCATV(Community Antenna TeleVision)会社のサービスを中心に発達したため、当初から映像配信サービスを含むトリプルプレイの比率が高いのに比べ、国土が狭くテレビ放送は無料で受信する文化が根付いている日本では、映像配信の比重が低いものの、高速インターネット接続及びIP電話を中心に発展してきた。しかし最近では、世帯数5千万に対し、ブロードバンド加入者数が2千万、うちFTTHが1千万を超える中、加入者数の伸びが鈍化しつつあり、今後の加入者数増加はHD(High Definition)品質を含む映像配信の普及が鍵を握る。国内では2011年に地上波アナログ放送の停波が予定されており、これも追い風になると思われる。

本稿では、GE-ONUにV-ONUの機能を一体化した、GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)の特長及び製品概要について述べる。

## 2. GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)

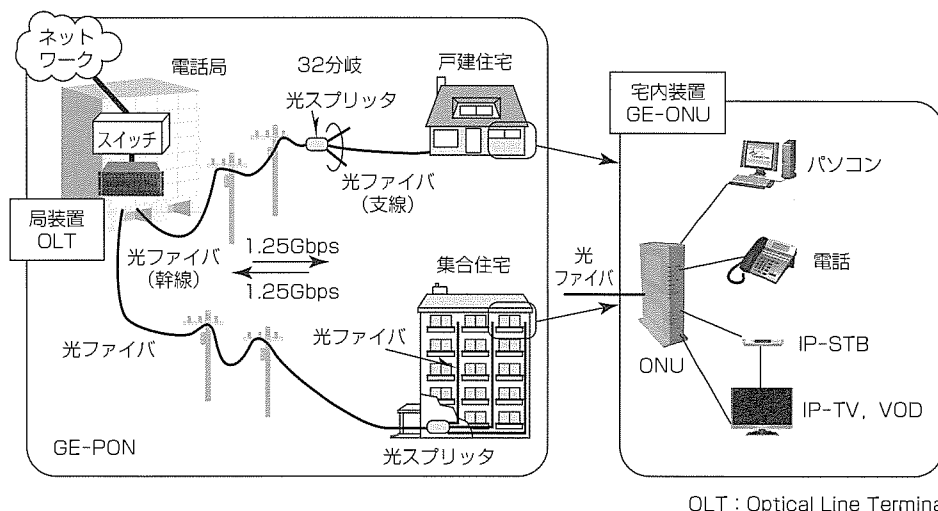
### 2.1 GE-PONシステムとIP映像配信

国内におけるFTTHには、電話局から加入者宅までの光ファイバを有効に活用し、また電話局側内の装置1台あたりの加入者数を増やし、設備の有効活用を図ることができるPONの技術を用いたネットワークが適用されている。PONの中でも、2004年以降はPON区間の上り下りの伝送速度が1 Gbpsであり、PONの構成上の特徴である32ユーザーでの帯域分割使用後も、ユーザーあたりの帯域が確保しやすいGE-PONシステムが使用されてきた。図1にGE-PONシステムのネットワーク構成を示す。

GE-PONシステムで上り下りの情報はすべてIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)802.3の規格に準拠したEthernetのフレームとして転送される。したがって、高速インターネット接続用のデータ、電話の音声データに加え、映像配信サービスにおける映像データもすべてデジタル化してIPパケットとして扱うことによって、シンプルなネットワークで劣化のない通信が可能となる。IP映像配信サービスは、放送型サービスに加え、VODのような、双方向型の映像配信サービスにも適用しやすいメリットがある。また、今後多チャンネル映像サービスでHD品質映像サービスへの切替えが進むと、HD品質映像は、1チャンネルあたり、MPEG2(Moving Picture Experts Group 2)エンコード時で12~25Mbps、H.264エンコード時でも7~10Mbpsの帯域が必要になるため、IPマルチキャストと呼ばれる方式を用いて、放送型サービスの配信データをPON配下の各ONU(ユーザー)に同報することによって、帯域の有効活用を実現する方式が採用されている。

### 2.2 波長多重方式によるアナログ映像配信

2.1節で述べたIP映像配信方式とは異なり、下り方向にデータ用の波長とは別の波長を用いて映像配信専用の光信号を重畳し、映像データをアナログのまま配信する方式がある。この方式では映像配信とデータ通信とを完全に分離できるため、トラフィック管理が容易になるメリットがある。一方で、IPによる映像配信が映像データをデジタル化して伝送するため、劣化が少なく取扱いが非常に容易であるのに対し、波長多重方式では映像データをアナログで扱うため、伝送路上での反射等による信号劣化が大きいために取扱いが難しく、伝送距離の拡大、すなわち広い地域でのサービス提供が困難であるという問題がある。この問題を解決するため、日本電信電話(株)では従来一般的に使用さ



OLT : Optical Line Terminal

図1. GE-PONシステムのネットワーク構成

れてきたAM-SCM(Amplitude Modulation-Sub Carrier Multiplexing)方式という映像信号を直接光に変調して搬送する方式に代え、FM(Frequency Modulation)一括変換という方式<sup>(2)</sup>を採用した放送型映像配信サービスを行っている。当社はこの方式に基づき、PON技術を用いたアクセスネットワーク上で各家庭に配信された映像データを復調してテレビで視聴できる情報に変換するV-ONU機能を開発し、それをインターネット接続、IP電話、IP方式の映像配信サービスに適用されるGE-ONUと一体化した、GE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)を製品化した。

### 3. FM一括変換方式

#### 3.1 FM一括変換方式の特長

2. 2節で述べたとおり、これまで一般的に用いられてきたAM-SCM方式は、高いCNR(Carrier vs. Noise Ratio)特性を実現するためには受信端における受光電力を高く維持しなければならず、伝送距離や光分岐数に大きな制限を受ける。また、多重反射に対する耐性が低いため、光コネクタや融着部分の十分な品質管理が必要となり、すでに広範囲に普及している光アクセスネットワーク網への適用が難しいという課題がある。

これに対し、FM一括変換方式は、多チャンネルの映像FDM(Frequency Division Multiplexing)信号を、図2に示すようなITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector)J.185準拠の光送信器によって、一括してFM変調信号に変換したのち、光の強度変調信号として伝送・分配するが、広帯域なFM信号に変換して周波数偏移量を大きく確保しFM利得を高めることで、AM-SCM方式と比較して低い受光電力でも高いCNRを確保することができる。また、FM信号に変換することによって、多重反射耐性、中継用光増幅器の雑音耐性、及び誘導ラマン散乱によるGE-PONクロストーク耐力を改善することができるため、すでに広く普及したGE-PONの光アクセスネットワークとの親和性が高い方式である<sup>(3)</sup>。

今回製品化したGV-ONUでは、受信周波数が770MHz以下の、従来のアナログ放送を含むVHF、UHF、及び地上デジタル放送などと、約2.1GHzまでの全BS及びCSデジタル放送を、ダウンコンバートすることなしにサポートすることが可能である<sup>(4)</sup>。図3に従来のV-ONU及び今回製品化したGV-ONUのサポートする周波数帯を示す。

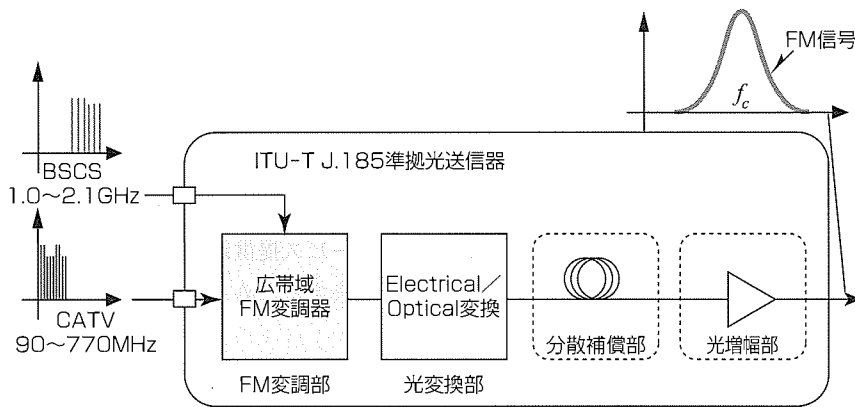


図2. FM一括変換方式映像送信器の構成

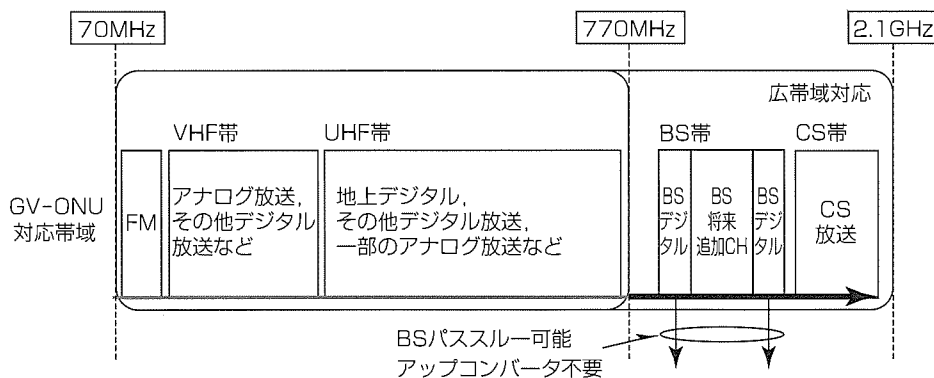


図3. サポートする周波数帯



### 3.2 映像受信器の構成

図4にFM一括変換方式の映像受信器の構成を示す。このうちGV-ONUに搭載される受信器は、伝送路から入力した光信号を電気に変換する受信部、FM信号を遅延検波回路によって多チャンネルの映像FDM信号に復調するFM復調部、復調信号を増幅する増幅部から構成されている。

伝送路からはGE-PONのデジタル信号及びFM信号(映像信号)がそれぞれ別波長で入力され、受信モジュール内のフィルタによって分波されたFM信号は、PD(Photo Diode)で光/電気変換されたのち、トランスインピーダンスアンプによって増幅される。増幅されたFM信号は、群遅延調整回路によってFM信号の群遅延特性を調整したのち、FM復調部に入力される。FM復調部はリミッティングアンプ、遅延回路、OR回路から構成されている。リミッティングアンプの逆相出力を遅延させたのち、OR回路で足し合わせると、入力した信号周波数に比例したパルス列ができ、このパルス列の高周波成分を低域通過フィルタによってカットすると周波数に比例した出力振幅が得られる。FM復調部の特性はF-V変換効率の線形性で特徴づけられ、遅延回路の遅延量とOR回路の調整と密接にかかわっている。F-V変換効率の非線形性はシステムの歪(ひずみ)特性を決める重要なパラメータの一つとなっている。復調された映像FDM信号は、増幅部で増幅されてテレビやCSチューナーなどに接続される。

## 4. GV-ONUの特長

### 4.1 GV一体化による機能・利便性向上

これまで用いられていた単機能のV-ONUは、映像受信

専用の装置であったため、ユーザー宅内に置かれた装置の状態を、サービス提供者が遠隔から監視制御する手段がなく、例えばユーザーから受信画像に問題があるなどの連絡があった場合や、一時的に映像受信のサービス加入のみ停止するというような場合、作業員をユーザー宅に派遣して調査・工事を行う必要があり、人件費がかかるとともに、ユーザー側にも在宅を強いられる等の負担が発生する。今回製品化したGV-ONUでは、上り下りの双方向通信が可能なGE-ONUとV-ONUを組み合わせることによって、GE-PONの持つOAM機能を用いてV-ONUの監視制御が可能となる機能を開発した。

また、独立したGE-ONUとV-ONUを使用した場合、それぞれに設置スペースが必要となるとともに、電源を供給するための電源アダプタも個別に必要であったが、GV-ONUでは両装置の基板を完全に一体化したため、設置スペースも装置1台分で済み、電源アダプタも一つで共用化できることで、ユーザーの利便性も高まった。

### 4.2 遠隔監視

GV-ONUでは、GE-PONのOAM機能を用いて次の遠隔監視機能を実現する。

- ①映像光入力断検出
- ②映像受信部(V-ONU機能部)故障検出

①は、映像用光信号自身の入力レベルがあらかじめ設計したレベルを下回った場合に、GV-ONUで光入力断検出を表示するとともに、オペレータはGE-PONのOAM機能によって局側装置であるOLT(Optical Line Terminal)経由でGV-ONUの故障状態を確認することができる。

②は、FM復調を行うデバイスの出力状態があらかじめ

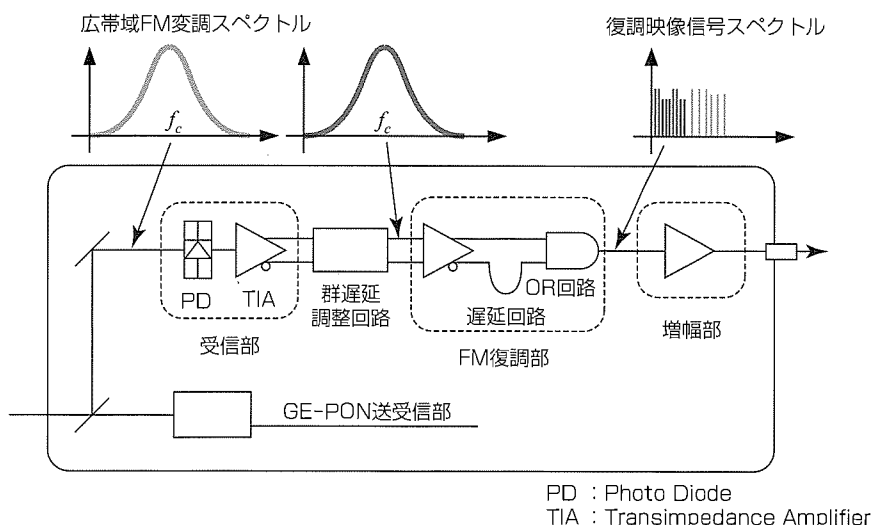


図4. FM一括変換方式映像受信器の構成

設計したレベルを下回ると故障検出と見なし、光入力断検出と同様に、GV-ONUで光入力断検出を表示するとともに、オペレータはOLTを経由してGV-ONUの故障状態を確認することができる。

これらの遠隔監視機能を複合的に用いることによって、ユーザーからテレビの受信状態が悪いといった障害情報が寄せられた場合、線路の異常等によってGV-ONUで映像信号の受信レベルが劣化しているのか、GV-ONUの映像処理部の故障が疑われるのかといった切り分けに活用することが期待できる。

### 4.3 遠隔制御

GV-ONUでは、遠隔監視に加え、同様にGE-PONのOAM機能を用いて、V-ONU機能部をオペレータが遠隔制御でON/OFFすることが可能である。これによってあるユーザーでRF放送受信のみ不要となった場合、不要な機能を停止することによる消費電力低減や、ユーザー宅に工事担当者を派遣しての機器交換等作業発生の抑制等が期待できる。

## 5. む す び

FTTH上で下りのデータとは別波長でFM一括変換方式を用いて送信され、RF信号の放送を受信するV-ONUと

GE-ONUと一体化したGV-ONUについて述べた。この装置によって、FTTHを利用したトリプルプレイサービスの選択肢が増え、オペレータ、ユーザー双方の利便性が向上することで、FTTHが更なる発展を遂げることが期待される。この装置の開発及び本稿執筆にあたりご指導いただいた、日本電信電話(株)アクセスサービスシステム研究所、東日本電信電話(株)、西日本電信電話(株)の皆様に深く御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- (1) GE-PON 映像受信機能一体型ONU(GV-ONU), 三菱電機技報, **83**, No.1, 22 (2009)
- (2) ITU-T J.185: Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by FM conversion (2007)
- (3) Kikushima, K., et al: A super wide-band optical FM modulation scheme for video transmission systems, IEEE Journal Selected Areas in Communications, **14**, No. 6, 1066~1075 (1996)
- (4) 池田 智, ほか: FM一括変換技術を用いた広帯域映像配信, NTTジャーナル, **19**, No.5, 44~47 (2007)

岩永伸理\* 久保博嗣\*\*  
 千田晴康\*  
 越馬 淳\*

# 東海道新幹線デジタル列車無線システム

Digital Train Radio System for Tokaido Shinkansen

Shinri Iwanaga, Haruyasu Senda, Jun Koshihara, Hiroshi Kubo

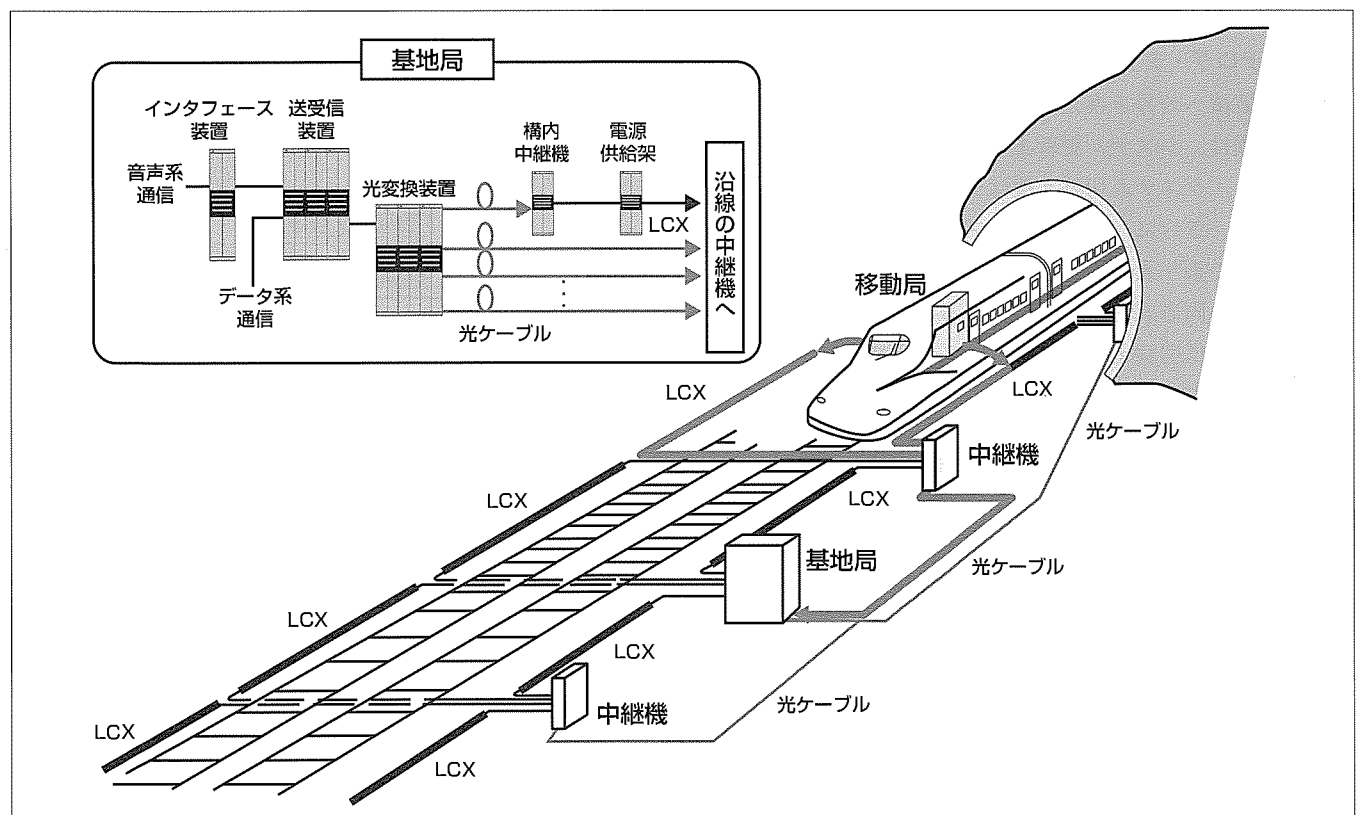
## 要 旨

1964年に運用を開始した東海道新幹線列車無線は、1989年のリプレースでLCX(Leaky Coaxial Cable)方式となり、その後20年にわたりアナログ方式で運用されてきた。これが2009年2月に最新のデジタル無線技術を活用したデジタル方式に更新され、データ通信を利用した新たなアプリケーションニーズに対応可能となった。

新しい列車無線システムは、列車(移動局)と地上の基地局間の通信をデジタル無線化することで、高品質な音声回線を提供している。さらに、光回線を用いた大容量・高速のデータ通信を実現し、旧システムからの機能アップを図り、列車運行に関するデータを送受信することで、列車の安定輸送に貢献している。

このシステムの主な特長は次のとおりである。

- ①東海道新幹線N700系で、車内インターネット接続サービスの提供を実現した。
  - ②高速走行する列車(移動局)と地上の基地局間で安定した回線品質を実現するため、ダイバーシチ受信方式を導入した。
  - ③アナログ・デジタル共用無線機を開発し、東海道区間のデジタル方式と山陽区間のアナログ方式、それぞれの無線方式に対応した。
  - ④アナログ・デジタル共用中継機を開発し、列車の運行に影響を与えることなく、システム更新を行った。
- これらを実現するため、三菱電機が東海旅客鉄道㈱と共同開発した新幹線列車無線システムの概要と、新たに導入した技術について述べる。



## 東海道新幹線デジタル列車無線システムの構成

2009年に更新された新しい新幹線列車無線システムは、アナログ方式で確立されたLCX方式を採用しており、地上設備が基地局装置・中継機で構成され、移動局装置を搭載した列車とはLCXを介してデジタル無線伝送が行われる。最新のデジタル無線技術によって、高品質な音声回線を提供するとともに、高速データ回線を活用してあらゆるデータ伝送を行い、安定輸送に貢献し、旅客サービスの向上を担っている。

1. ま え が き

東海道新幹線列車無線は、2009年2月にアナログ方式から最新の通信技術を適用したデジタル方式へシステム切替えを行った。これによって、東海道新幹線N700系で車内インターネット接続サービスの提供と、データ伝送高機能化による新しい業務アプリケーション機能を実現した。本稿では新幹線デジタル列車無線のシステムについて述べる。

2. システムの概要

列車無線システムは、基地局、中継機、線路沿いに張られた漏洩(ろうえい)同軸ケーブル(LCX)からなる地上設備と、列車に実装された移動局の間を、無線を用いて、新幹線業務や旅客サービスに必要な音声系、データ系の信号伝送を行うものである。表1にアナログ方式とデジタル方式の機能比較を示す。

3. システムの特長

3.1 無線のデジタル化と新周波数帯の導入

無線方式は、アナログ方式からデジタル方式へ変更した。さらに、新たに割り当てられた新周波数帯でインターネット接続用のデータ系の回線を提供した。

3.2 安定した無線品質の実現

無線性能の向上を図り、符号誤り率  $1 \times 10^{-4}$  以下を実現した。

3.3 アナログ・デジタル共用機能

新しい装置への置き換えには1年以上の工期がかかるので、各装置は、システム更新までの移行期間はアナログ方式で動作し、システム切替え後はデジタル方式で動作する必要がある。さらに、移動局はシステム切替え後の山陽新幹線区間への乗り入れに対応するため、アナログ方式とデジタル方式の両方式を瞬時に切替える必要がある。よって、このシステムは切替え機能によって、アナログ方式とデジタル方式の両方に対応することができるものとなっている。

表1. アナログ方式とデジタル方式の機能比較

アナログ方式		デジタル方式
運転指令電話	現行機能	運転指令電話
旅客指令電話		旅客指令電話
公衆電話		公衆電話
業務電話		業務電話
車掌一斉放送		車掌一斉放送
ラジオ再放送		ラジオ再放送
文字ニュース		文字ニュース
車両モニタ	機能向上	車両モニタ
列車動揺モニタ		列車動揺モニタ
列車無線モニタ		列車無線モニタ
	新規機能	運行状況指令伝達
		3者通話
		車内インターネット接続

表2に各方式の概要を示す。

3.4 無線エリアの細分化

1列車あたりのデータ系無線回線速度を向上させるため、もともと一つであった基地局配下の無線エリア(無線ゾーン)を複数に細分化した。これによって、細分化された一つの無線エリア内の同時在線列車数を減少させることができる。

無線エリアを細分化しない場合の無線ゾーン構成の場合、図1のように基地局単位(約20~30km程度)に在線する列車(図1では4列車)で、データ帯域を共有することになる。

一方、無線エリアを細分化した場合、図2のようにになる。データ系回線の帯域を各無線エリア内在线列車(図2では1列車~最大2列車)で共有することが可能となり、1列車あたりの割当て無線帯域を増大させることができる。

4. 実現方式

4.1 無線回線品質向上の実現

高速走行する列車(移動局)と地上の基地局間で安定した回線品質を提供することが必要なため、次の技術を新たに導入した。

表2. デジタル方式とアナログ方式

		デジタル方式	アナログ方式
無線方式	伝播方式	LCX方式+光ROF方式 <sup>(注1)</sup>	LCX方式
	変調方式	デジタル変調	アナログ変調

(注1) 光ROF(Radio On Fiber)方式：基地局と中継機間の主信号を光ケーブルで伝送する方式

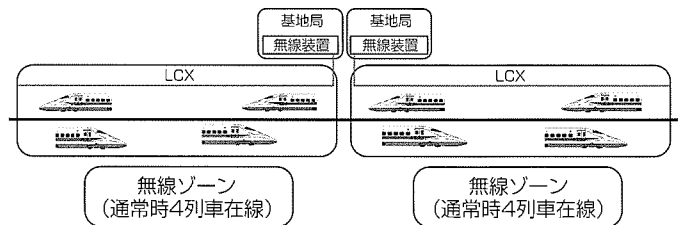


図1. 無線エリアを細分化しない場合の無線ゾーン構成

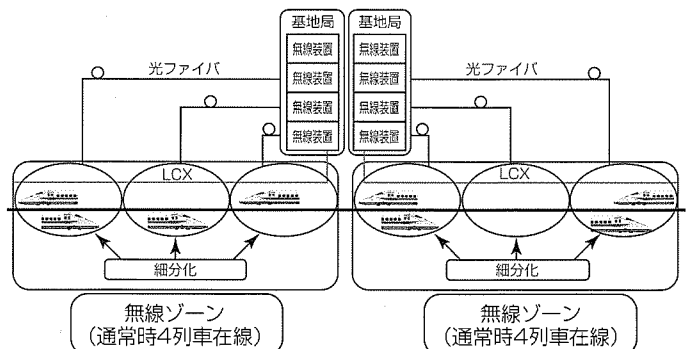


図2. 無線エリアを細分化した場合の無線ゾーン構成

(1) A→Bダイバーシチ方式

基地局→移動局方向(A→B)は、前後・左右のLCXアンテナを用いたダイバーシチ受信を採用した(図3)。複数の電波を受信することで、高速移動下での無線回線品質の劣化を回避し、A→Bの無線回線品質の向上を実現した。

(2) B→Aダイバーシチ方式

移動局→基地局方向(B→A)方向の電波を受信するLCXは、物理的に山側、海側の2本しかないため、通常では2ブランチでの受信に留まる。

そこで、移動局から二つの送信信号を送出し、受信側で信号を分離し、最適合成することで1本のアンテナをあとかも2本のように扱うことができる独自技術(PADM: Per transmit Antenna Differential Mapping)を開発した。今回、この技術をB→A回線に適用することで、擬似的に基地局受信機では4ブランチダイバーシチ受信となり、B→Aも安定した無線回線品質を実現した(図4)。

さらに、列車すれ違い時でも、従来は単ブランチ受信となるところを、この技術によって2ブランチダイバーシチ受信が可能となるため、無線回線品質の大きな改善効果を得ることができる。

(3) 中継機構成

アナログ方式の中継機は、経済性の観点から基地局→移動局(A→B)と移動局→基地局(B→A)の増幅器構成は共通方式を採用した。そのため、B→Aでは基地局の受信機ではダイバーシチ受信ができなかった。新しいシステムでは、中継機の増幅器構成をA→B/B→A独立方式とし、B→Aにもダイバーシチ受信方式を導入した。これによって、B→Aの無線回線品質を向上させることができた。

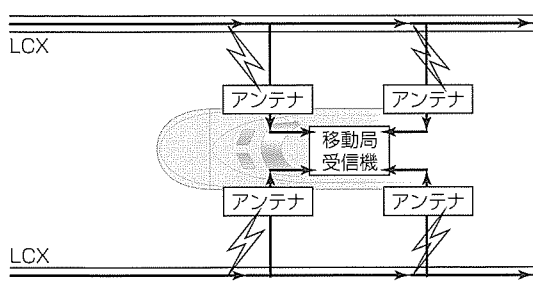


図3. A→Bダイバーシチ方式

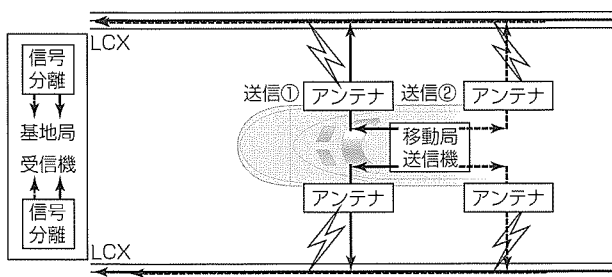


図4. B→Aダイバーシチ方式

表3にアナログ方式とデジタル方式における中継機方式を示す。

4.2 アナログ・デジタル共用機能の実現

(1) 移動局無線機

移動局は、列車内の限られたスペースに実装されるため、小型化が求められる。またアナログ方式、デジタル方式の両方に対応した無線機が必要となる。この問題を一つの無線機(ハードウェア)で両方の方式に対応することで解決した。図5に移動局無線機の外観を示す。

この無線機は、基地局からの無線信号に適応して自動的に無線方式を切り替えることが可能である。よって、2009年2月のデジタル方式へのシステム切替え時も、すべての移動局が自動的に方式切替えを行うことができた。

さらにこの無線機は、アナログ方式で運用されている山陽区間への乗り入れの際も、切替え地点で瞬時に方式を切り替えることが可能である。

(2) 中継機

中継機は、基地局と移動局間の電波の中継を行う装置であり、東海道新幹線区間で、システム切替え移行期間中のアナログ方式(LCX直接増幅方式、メタル回線による監視制御)、システム切替え後のデジタル方式(光ROF(Radio On Fiber)方式+LCX直接増幅方式、光回線による監視制御)の両方に対応する必要があった。

そのため、中継機は条件の厳しいデジタル方式を見越した広帯域設計としたほか、AGC(Auto Gain Control)制御方式をアナログ用とデジタル用の2種類用意し、それぞれ

表3. 中継機方式

	デジタル方式	アナログ方式
中継機方式		
光ROF対応	あり	なし
監視回線	光ケーブル回線	メタル回線
増幅器構成	A→B/B→A独立増幅方式	A→B/B→A共用増幅方式
AGC方式	デジタルAGC	アナログAGC
		AGC: Auto Gain Control

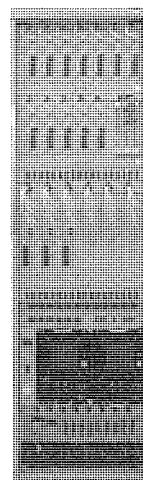


図5. 移動局無線機の外観

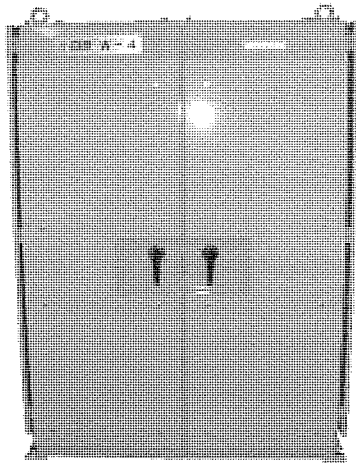


図 6. 中継機の外観

で最適に動作するよう作り込みを行った。図 6 に中継機の外観を示す。

#### 4.3 無線エリア細分化の実現

図 2 の構成を実現するために、基地局では無線の A→B 方向の主信号を“E(電気)／O(光)変換”し、B→A 方向の主信号を“O(光)／E(電気)変換”する機能を実装した。中継機では無線の A→B 方向の主信号を“O／E変換”し、B→A 方向の主信号を“E／O変換”する機能を実装した。距離の

離れた基地局と中継機間を光ファイバで結んだ ROF 方式によって、細分化された無線エリアごとに独立した無線信号の伝送が可能となった。

無線エリア単位の(移動局の)在線管理を行うために、基地局では無線エリアごとに無線機(送受信装置)を設け、無線エリアの番号を各無線機から送信している。基地局と移動局が、このエリア番号をやりとりすることによってリアルタイムな在線管理を実現している。

#### 5. む す び

東海道新幹線デジタル列車無線システムの特長と、新たに導入した技術について述べた。当社は列車無線のデジタル化によって、新しいサービスに対応した列車無線システムを提供している。

#### 参 考 文 献

- (1) 杉山寛之：東海道新幹線車内インターネット接続サービスの導入，鉄道と電気技術，19，No.11，10～14 (2008)
- (2) 藤岡 滋，ほか：東北・上越新幹線デジタル列車無線システム，三菱電機技報，78，No.2，148～151 (2004)

# 東海道新幹線N700系列車内インターネット用無線LANアクセスポイント

杉浦哲広\*  
上田靖史\*  
中岡正喜\*

Wireless LAN Access Points for Tokaido Shinkansen the Series N700 Internet Service

Tetsuhiro Sugiura, Yasushi Ueta, Masaki Nakaoka

## 要旨

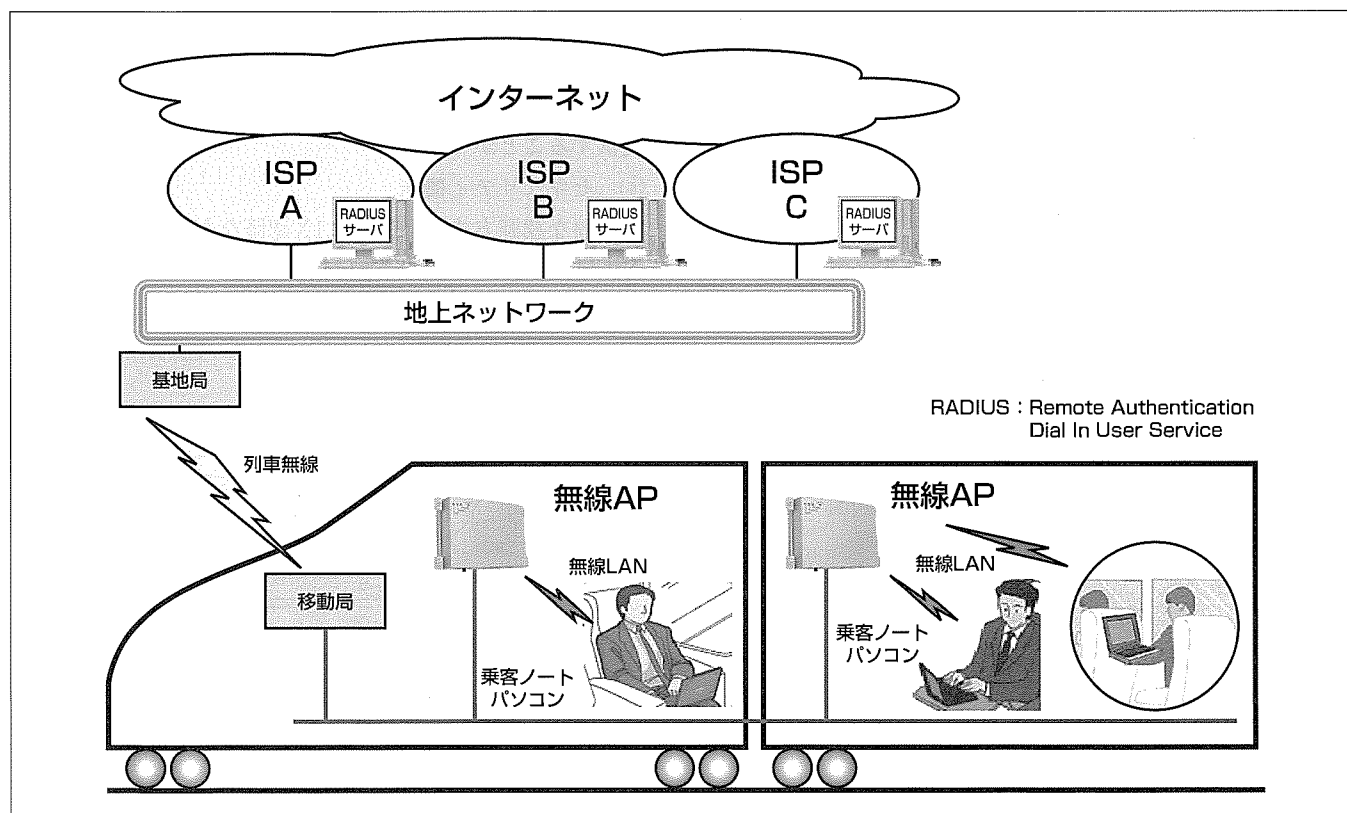
近年、通信のユビキタス化に伴い、家庭やオフィスだけでなく、様々な場所でのインターネット接続サービスが急速に普及している。また、最近のノートパソコンには無線LAN(Local Area Network)機能が標準装備されており、駅やホテルなど公衆エリアにおける無線LANサービスでのインターネット接続も可能となっている。一方、高速移動する新幹線列車内では、これまで安定したインターネット接続環境を提供することは困難であった。

このような状況で、2009年3月に快適な列車内空間の提供を目的として、東海道新幹線N700系列車内インターネット接続サービスが開始された。このサービス提供にあたり、三菱電機は、新幹線列車内に設置し、列車無線経由で複数のISP(Internet Service Provider)に接続可能とする

“列車内インターネット用無線LANアクセスポイント(無線AP)”を開発した。

この装置の主な仕様、特長は次のとおりである。

- ①無線アクセス方式はIEEE802.11b/gに準拠し、電波干渉を考慮した指向性アンテナの使用によって、安定した無線LAN電波環境を提供
- ②1台の無線AP(Access Point)から複数のISPネットワークサービスを提供するための、バーチャルAP機能
- ③新幹線内の限られたスペースに設置するため、アンテナを内蔵タイプとし、装置の小型化を実現
- ④新幹線搭載に配慮した耐環境設計によって、安定したインターネット環境を提供



RADIUS : Remote Authentication Dial In User Service

## 列車内インターネット用無線LANアクセスポイント

今回開発した無線LANアクセスポイント(無線AP)を使用した列車内インターネットシステムの構成を示す。無線APは新幹線各号車内に設置され、複数の乗客のノートパソコンと接続して、列車無線経由でインターネット接続やメール送受信を行う。1台の無線APから複数のISPに接続可能な機能を持つ。

## 1. ま え が き

2009年3月に、快適な列車内空間の提供を目的として、東海道新幹線N700系列車内インターネット接続サービスが開始され、当社はこのサービスを提供するための列車内インターネット用無線LANアクセスポイント(以下“無線AP”という。)を開発した。

列車内インターネット用無線APは、新幹線車内の乗客に対し、インターネット接続やメール送受信など安定した公衆無線LANサービスを提供するための無線装置である。図1の無線APと図2の無線AP用電源ユニットを新幹線各号車内に設置し、複数の乗客のノートパソコンと接続して、列車無線経由で複数のISPにアクセス可能な機能を提供するものである。

本稿では、この装置について述べるとともに、一般的な無線LANにおける問題点とその解決策についても述べる。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

この無線APを使用した列車内インターネットシステムの構成を図3に示し、システムの概要について述べる。

- (1) 車上の無線APからは、ISP事業者ごとの無線LANネットワークの識別子ESSID(Extended Service Set Identifier)を付与した2.4GHz帯無線電波を送信する。乗客のノートパソコンから、ESSIDを指定して無線APに接続する。
- (2) 無線APからデータセンタ間の通信はタグVLAN(Virtual LAN)をサポートし、地上~車上のアクセスネットワークである列車無線経由で、ISP事業者ごとの情報を異なるVLANで伝送する。

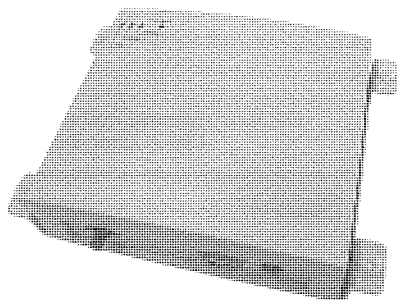


図1. 無線APの外観

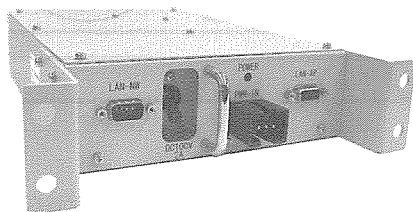


図2. 電源ユニットの外観

- (3) VLANごとの各ISP事業者向け情報は、地上データセンタのネットワーク装置で各ISP事業者に振り向けられる。
- (4) 無線AP~ISP事業者ごとのRADIUS(Remote Authentication Dial In User Service)サーバ間で乗客のノートパソコンごとの認証機能を提供し、認証が成立したのちに乗客のノートパソコンでインターネット接続が可能となる。

### 2.2 システムにおける無線APの特長

#### (1) 安定した無線LAN電波環境

2.4GHz帯IEEE802.11b/gに対応した無線電波の送受信を行う。また、電波干渉を考慮した指向性アンテナの使用や最適な無線周波数チャネル設計によって、安定した無線LAN電波環境を提供する。

#### (2) バーチャルAP機能

物理的には1台の無線APが、まるでISP事業者ごとに複数台あるかのように使用することができる機能を持っている。ISP事業者ごとに、認証方式や接続方式などを設定することができ、要件の異なるネットワークを構築することが可能である。

ISP事業者を増やす際に、無線APを物理的に増設することも不要となる。

#### (3) VLAN機能

無線APは、イーサネット<sup>(注1)</sup>へ接続する有線部分でIEEE802.1qに準拠したタグVLAN機能を持っており、ISP事業者ごとのESSIDを付与した無線部分と連携することによって、ISP事業者ごとに異なるネットワークサービスを提供することができる。

#### (4) セキュリティ機能

強固な認証方式(IEEE802.1X認証など)の採用や、無線AP折り返し時の端末間通信禁止機能によって、高いセキュリティレベルを確保した。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

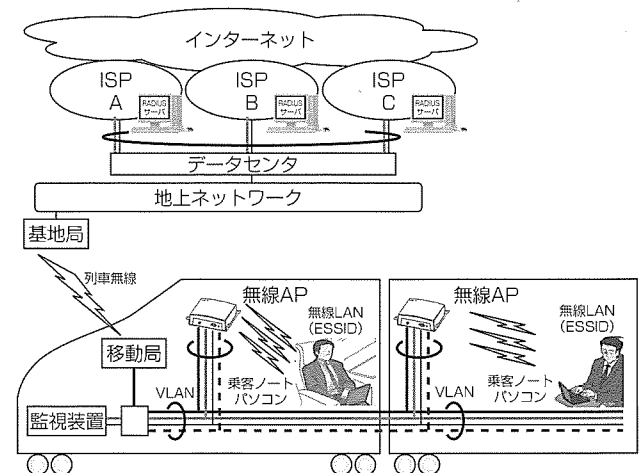


図3. システムの構成



(5) 運用／保守機能

監視装置に対して、無線APの動作状況や端末接続ログをSNMP(Simple Network Management Protocol)やsyslogで出力することができる。

また、無線AP交換時を考慮し、設置場所に応じたデータ設定を自動的に行い、無線APの動作確認ができる保守ツールも提供する。図4に保守ツールの画面イメージを示す。

3. 装置概要

3.1 装置の構成

装置のブロック図を図5に示す。装置は無線APと電源ユニットから構成される。

3.1.1 無線AP

(1) 内蔵指向性アンテナ部

指向性平面アンテナで構成され、2.4G帯無線電波の送受信を行う。

(2) 無線処理部

ベースバンドチップ、無線チップ、無線送受信機などから構成され、端末との無線通信を行う。

(3) 制御部

CPU(Central Processing Unit)やメモリ等で構成され、有線～無線をブリッジするための主信号制御や各種機能を提供する。

(4) 有線処理部

上位ネットワーク(車内LAN)とのインタフェースを持ち、IEEE802.3uに準拠した100BASE-TXでデータ送受信を行う。

(5) 電源部

DC48V入力から、装置内の各部に必要な電源電圧に変換し、電源を供給する。

3.1.2 電源ユニット

新幹線車両から供給されるDC100VをDC48Vに変換し、PoE(Power of Ethernet)給電でLANケーブルで無線APに電源を供給する。

3.2 装置の特長

(1) 小型化

新幹線内の限られたスペースに設置するため、アンテナは内蔵タイプの平面アンテナを使用し、装置の小型化を実現した。

(2) 耐環境性

新幹線搭載に配慮した耐環境設計(温度、振動、ノイズ対策など)を実施した。

- ①筐体(きょうたい)内板金など機構構造を工夫した放熱性の向上
- ②ねじ止めイーサコネクタ使用や、筐体内ねじ軽減などによる振動対策
- ③外部との絶縁強化によるノイズ対策
- ④長寿命型コンデンサ使用などによる耐久対策
- ⑤基板コーティングによる信頼性の向上

3.3 装置の主要諸元

装置の主要諸元を表1に示す。

4. バーチャルAP機能

4.1 一般的な無線LANにおける問題点

(1) 異なるネットワーク接続時の複数無線AP設置

ノートパソコンのような無線クライアントは、無線

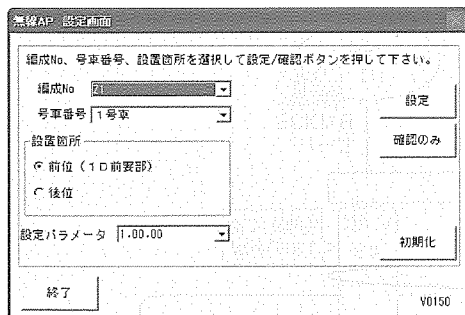


図4. 保守ツールの画面イメージ

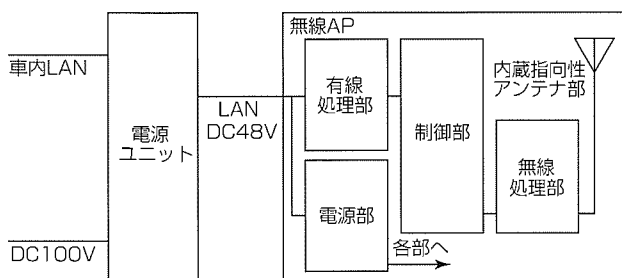


図5. 装置のブロック図

表1. 装置の主要諸元

項目	内容
規格	IEEE802.11b/g 準拠
周波数帯	2.400~2.4835GHz
伝送方式	スペクトラム拡散通信方式 直行周波数分割多重方式
アクセス方式	CSMA/CA
伝送速度	11g: 最大54Mbps, 11b: 最大11Mbps
アンテナ方式	指向性(平面アンテナ内蔵)
有線インタフェース	100BASE-TX
セキュリティ	IEEE802.1X認証など
端末収容数	最大100台/1 AP
保守管理方式	SNMP, syslogなど
サイズ	無線AP: 188×168×53(mm) 電源ユニット: 170×252×55(mm)
質量	無線AP: 1.3kg 電源ユニット: 2 kg
温度条件	0~50℃(自然空冷)
振動条件	JIS E 4031 1種B
衝撃条件	JIS E 4032 1種A

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance

LANのネットワーク識別子ESSIDを指定して、無線APに接続する。一般的な無線LANでは、ESSIDやBSSID(無線APのMACアドレス)を一つしか持つことができず、認証方式や接続方式も一つしか設定できないため、セキュリティ要件が異なる複数のISPネットワークサービスを提供するためには、物理的に複数の無線APを設置し、無線クライアントから無線LAN接続する必要があった(図6)。

(2) 電波干渉によるスループット低下

新幹線内の限られたエリア内で多数の無線APを設置す

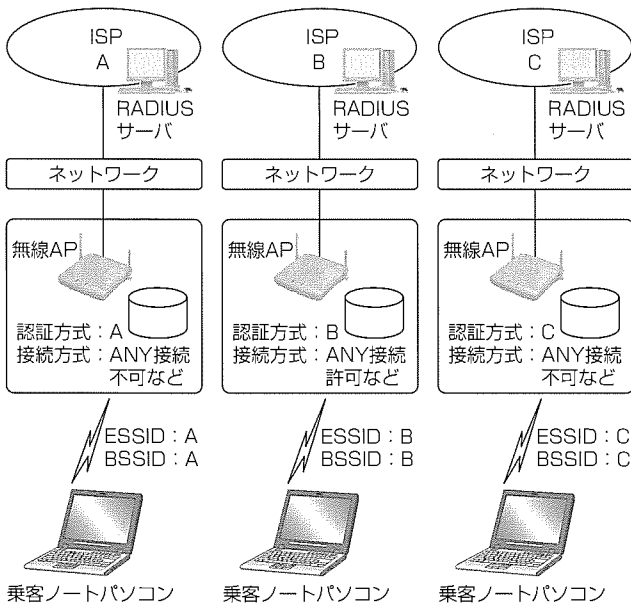


図6. 一般的な無線LANによる複数APの設置

る場合は、費用的な問題のほかにも、無線LANが使用できる無線周波数チャンネルに制限があるため、図7のように電波干渉によるスループット低下の影響が考えられる。

4.2 バーチャルAP機能の仕組み

4.1節で述べた問題の解決策として、物理的には1台の無線APが、まるでISP事業者ごとに複数台あるかのように使用することができるバーチャルAP機能を搭載した。その仕組みを次に述べる(図8)。

(1) 複数ESSID, BSSIDのブロードキャスト

無線APは、ビーコンという報知信号を定期的にブロードキャストすることによって、無線クライアントに対しESSIDやBSSIDを通知する。ビーコンを複数持ち、送信タ

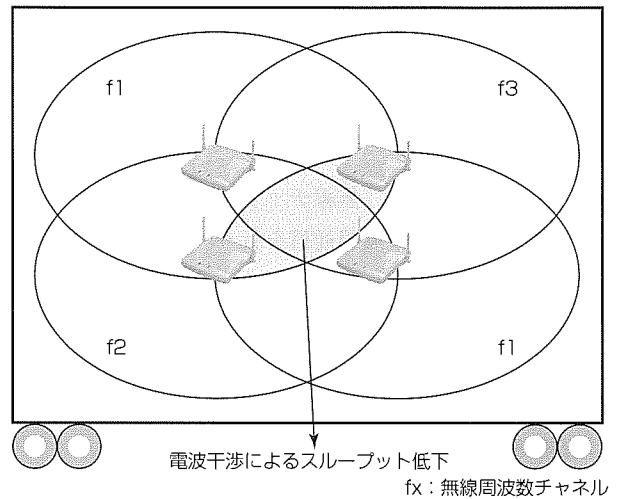


図7. 電波干渉によるスループット低下

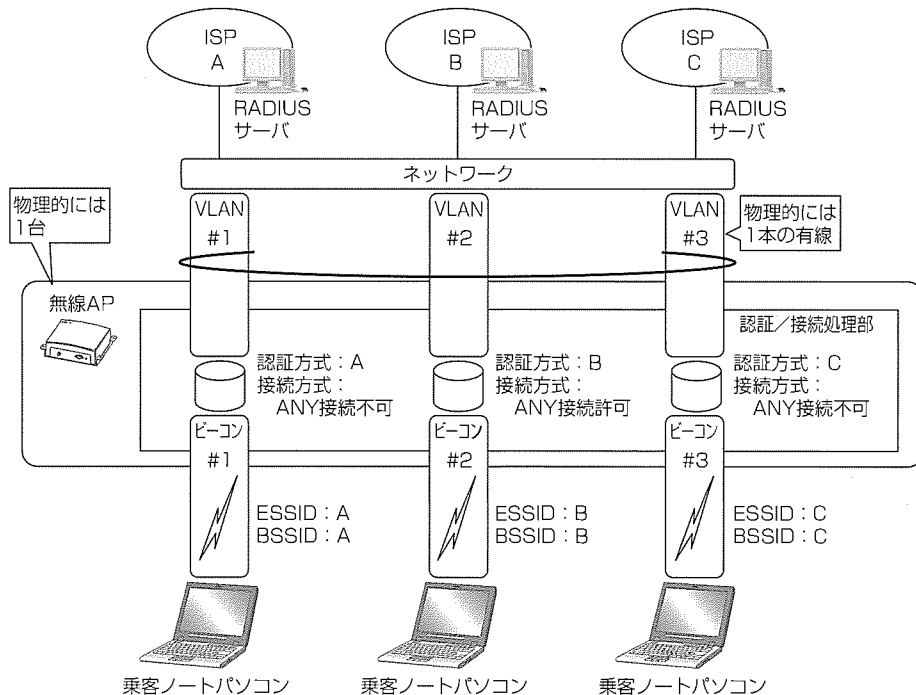


図8. バーチャルAP機能の仕組み(論理構成)

イミングをずらすことで、複数のESSIDやBSSIDをブロードキャストし、周囲の無線クライアントに対して複数の無線APが設置されているように見せることができる。

(2) VLAN機能連携による異なるネットワーク構築

イーサネットへ接続する有線部分では、IEEE802.1qに準拠したタグVLAN機能を搭載し、ISP事業者ごとのESSIDを付与した無線部分と連携することによって、ISP事業者ごとに異なるネットワークを構築することができる。

(3) ISP事業者ごとの認証方式、接続方式

構築された異なるネットワークに対し、内部処理を工夫することによって、ISP事業者ごとの認証方式や接続方式を設定することができ、セキュリティ要件が異なる複数のISPネットワークサービスを提供することが可能である。

## 5. む す び

当社が開発した列車内インターネット用無線LANアクセスポイント、及び一般的な無線LANにおける問題点とその解決策についても述べた。今後はこれまで培った無線

技術を基に、新しい無線方式の製品開発や新しいサービス、アプリケーションとの連携によって、ユーザーにとって魅力あるシステムの検討を行い、社会の発展に貢献していく所存である。

最後に、この装置の開発にあたり多大なるご指導をいただいた東海旅客鉄道㈱及び西日本旅客鉄道㈱をはじめとする関係各位に深く感謝の意を示す。

## 参 考 文 献

- (1) 守倉正博, ほか: 改訂版802.11高速無線LAN教科書, インプレス標準教科書シリーズ (2005)
- (2) 夏川真二, ほか: 5GHz帯高速無線アクセスシステム, 三菱電機技報, 78, No.2, 144~147 (2004)
- (3) Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE 802.11 (1999)
- (4) ARIB STD-T66 第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレスLANシステム2.0版 (2002)

# モバイルWiMAX基地局用 高効率・低歪み電力増幅器

堀口健一\* 木村 仁\*\*\*  
山内和久\*\* 林 亮司\*  
竹下盛泰\*\*\*

High Efficiency Low Distortion Power Amplifier for Mobile WiMAX Base Stations

Kenichi Horiguchi, Kazuhisa Yamauchi, Moriyasu Takeshita, Hitoshi Kimura, Ryoji Hayashi

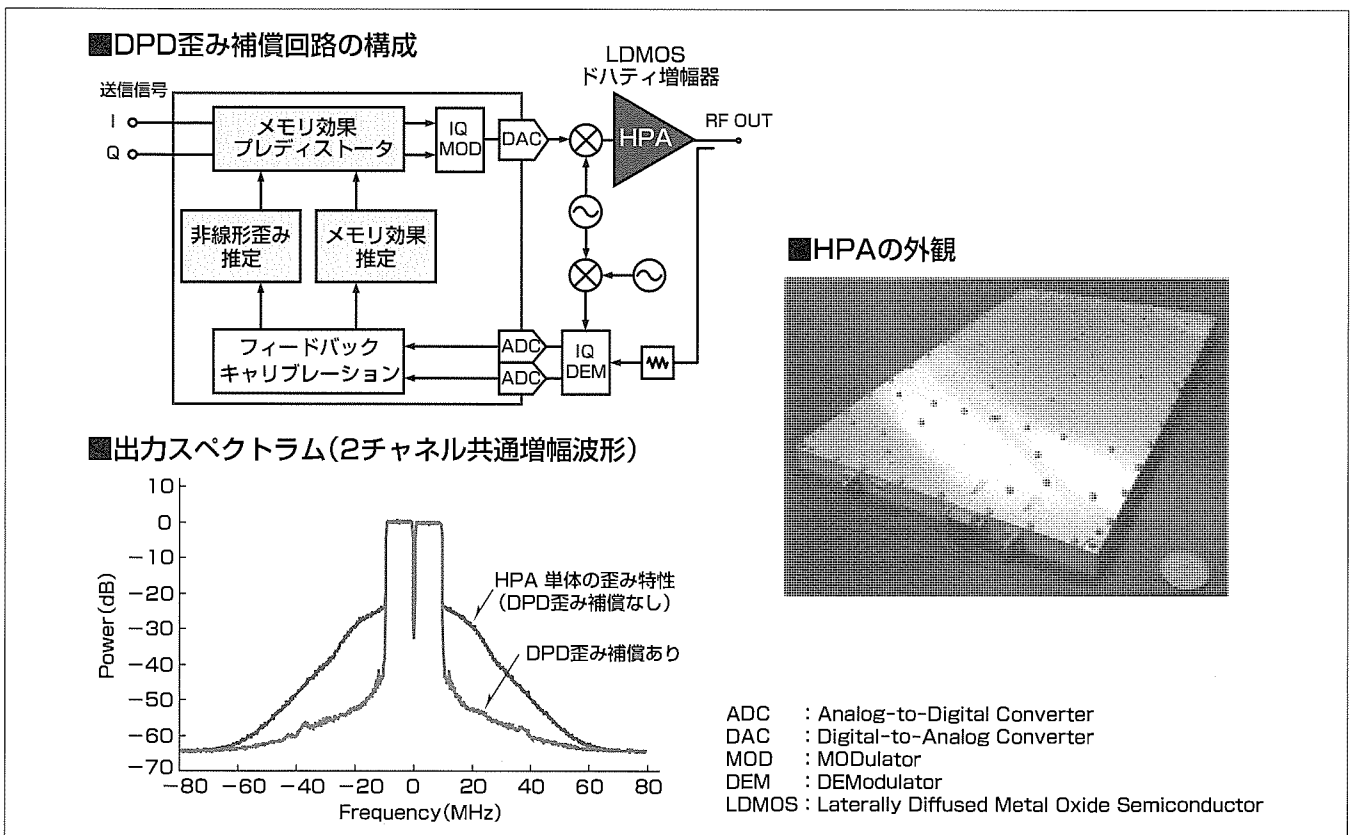
## 要 旨

次世代移動帯通信システムでは、隣接チャネルへの漏洩(ろうえい)を抑圧しつつ消費電力を削減する必要性から、歪(ひず)み補償回路を用いながら電力増幅器をより効率の高い状態で動作させる技術が必要とされる。こうした中、最近では各種歪み補償方式の中で高効率と期待できるデジタルプレディストーション(Digital Pre-Distortion: DPD)方式の研究発表が盛んに行われている。

一方、高出力増幅器(High Power Amplifier: HPA)の高効率化技術としてドハティ増幅器の開発が行われており、DPDと組み合わせることで高効率と低歪み化の両立を図る検討が行われている。しかしながら、ドハティ増幅器では、信号の瞬時振幅に対応して歪みが一意に定まらなくな

るメモリ効果が発生しやすいという欠点を抱えており、DPDによる歪み補償性能が著しく劣化するという課題があった。

そこで三菱電機では、シリコンデバイスをを用いたドハティ増幅器と、メモリ効果歪みを信号処理によって補償するDPD歪み補償回路を用いた、モバイルWiMAX(Worldwide interoperability for Microwave Access)基地局用DPD電力増幅器を開発した。シリコンデバイスをを用いた高出力増幅器として世界トップクラスの効率24.5%、歪み-52dBr(DPD歪み補償あり)を達成し、次世代移動帯通信基地局装置の低消費電力化、小型・軽量化を実現した。



## DPD歪み補償回路の構成と歪み性能

DPD歪み補償回路の構成と歪み性能、高出力増幅器の外観を示す。効率の高いドハティ増幅器とメモリ効果歪みを補償する当社独自のDPD技術を組み合わせることで、シリコンデバイスをを用いた高出力増幅器として世界トップクラスの効率24.5%、歪み-52dBrを達成し、次世代移動帯通信基地局装置の低消費電力化、小型・軽量化を実現した。

1. ま え が き

次世代移動帯通信システムでは、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)信号に代表される平均電力とピーク電力との比が大きい信号が用いられる。特に基地局では、隣接チャンネルへの漏洩を抑圧しつつ消費電力を削減する必要性から、歪み補償回路を用いながら電力増幅器をより効率の高い状態で動作させる技術が必要とされる。こうした中、デジタル技術の進展とともに各種歪み補償方式の中で高効率期待できるDPD方式の研究発表が盛んに行われている<sup>(1)</sup>。

一方、増幅器の高効率化技術としてドハティ増幅器<sup>(2)</sup>の開発が行われており、DPDと組み合わせることで高効率と低歪み化の両立を図る検討が行われている<sup>(3)</sup>。しかしながらドハティ増幅器では、メモリ効果が発生しやすいという欠点を抱えている。加えて、広帯域動作をするとバイアス回路等の帯域外周波数特性の影響が顕著となり、DPDによる歪み補償性能が著しく劣化するという課題があった。

そこで当社では、メモリ効果歪みの発生量を抑えながら高効率化を実現するために、シリコンデバイスをを用いたドハティ増幅器<sup>(4)</sup>と、増幅器で生じるメモリ効果歪みを信号処理によって補償するDPD歪み補償回路<sup>(5)</sup>を用いた、モバイルWiMAX基地局用DPD電力増幅器を開発した。その結果、シリコンデバイスをを用いた高出力増幅器として世界トップクラスの高効率・低歪み性能を実現したことについて述べる。

2. 全体システム構成

図1に、開発した適応型DPD電力増幅器の全体システム構成を示す。この電力増幅器は、送信出力10Wのアンテナモジュールを2ブランチ内蔵し、合計20Wの送信出力を持つ。各アンテナブランチはHPA、送受信機、歪み補償回路から構成される。適応型DPDとしてのフィードバック回路は受信回路と部分的に共用し、HPAからの出力

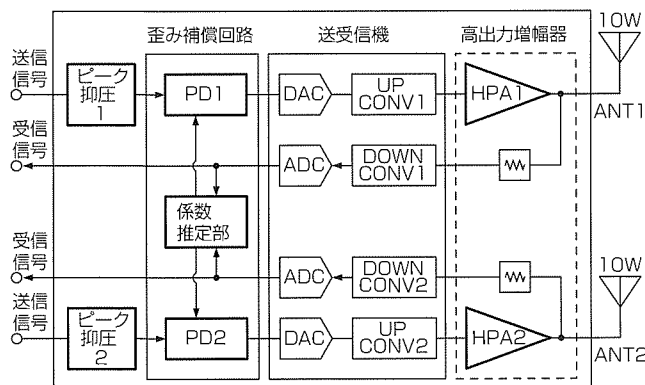


図1. 適応型DPD電力増幅器の全体システム構成(2ブランチ)

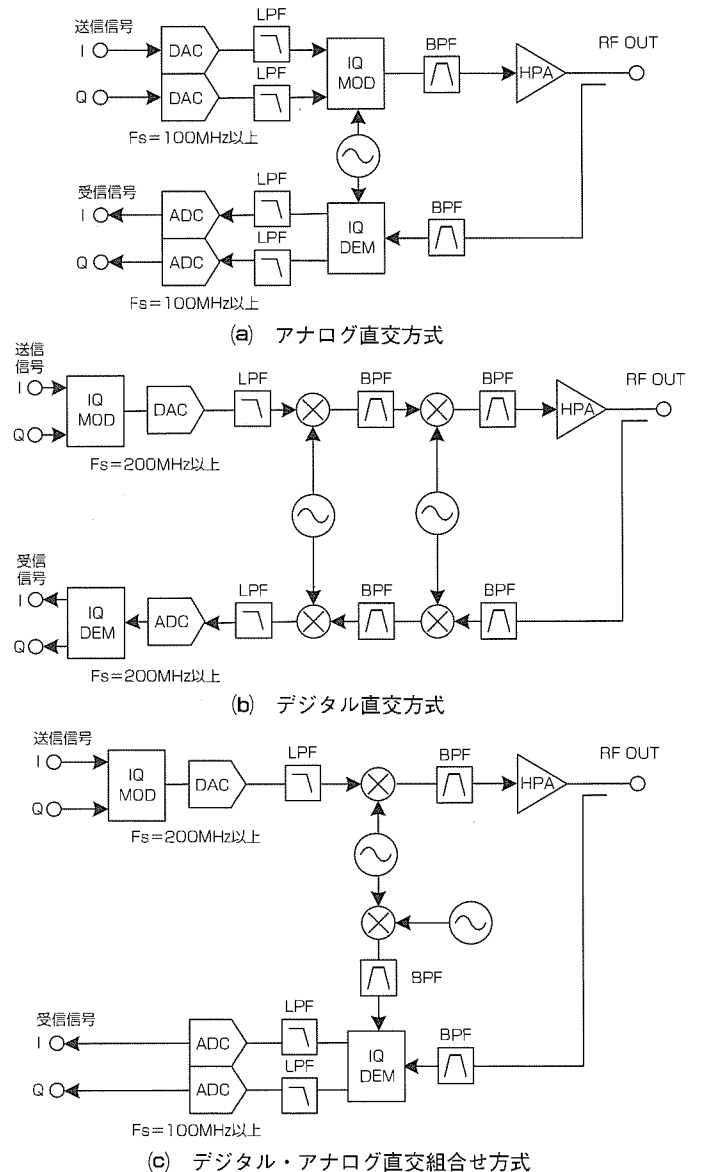
はフィードバック回路を経て係数推定部に入力する。係数推定部では、ブランチごとにプレディストorter (Pre-Distorter: PD)の係数を交互に推定することで、ブランチ間のばらつき、温度特性、経年変化等によらず常に安定した歪み補償動作を実現する。

3. DPD歪み補償回路

3.1 DPD送受信機

DPD送受信機では、信号帯域だけではなく歪み補償帯域までも含む広い帯域幅の信号を送受信する必要がある。例えば信号帯域20MHzを持つシステムの場合には、3次又は5次相互変調歪みを補償しようとする、DPD送受信機では歪み補償を必要としない通常の送受信機と比較して、少なくとも3~5倍以上の広い帯域幅が必要となる。

DPD送受信機は、直交変復調をアナログで行うか、デジタルで行うかによって、アナログ直交方式(図2(a))、デ



LPF : Low Pass Filter  
BPF : Band Pass Filter

図2. DPD送受信機の構成例(1ブランチ)

デジタル直交方式 (図2(b)), デジタル・アナログ直交組合せ方式(図2(c))の3つの方式に大別できる。一つ目のアナログ直交方式は、ベースバンド周波数からRF周波数へと直接変換するためIF回路が存在せず、部品点数(コスト, 大きさ)の面で利点がある一方、直交変復調をアナログ回路で行うため、IQ振幅誤差やIQ角度誤差といったIQ誤差(IQ不整合)が生じる課題がある。二つ目のデジタル直交方式は、直交変復調がデジタルで行われるためIQ誤差が生じないという大きな利点があるが、DAC(Digital-to-Analog Converter)及びADC(Analog-to-Digital Converter)への入出力信号がIF周波数帯となるため、サンプリング周波数(Sampling Frequency: Fs)が高くなるという課題がある。三つ目のデジタル・アナログ直交組合せ方式は、一方の経路に誤差のないデジタル直交方式を採用するため、IQ誤差の発生箇所を他方の経路に特定することができ、検出したIQ誤差をデジタル的に補正することが可能となる。図2(c)にフィードバック系にアナログ直交復調を採用する場合の構成例を示す。今回の開発では、フィードバック系で生じるIQ誤差をデジタル補正することを前提に、フィードバック系にアナログ直交復調を用いたデジタル・アナログ直交組合せ方式を採用した。表1にDPD送受信機の各種方式の比較をまとめる。

3.2 歪み補償回路

図3にDPD歪み補償回路の構成を示す。メモリ効果歪みは、ある時刻の歪みとその前後の歪みの影響で変化する、一種の周波数特性を持つ形で現れる。そこでこのDPDでは、HPAからのフィードバックデータをもとに非線形歪

表1. DPD送受信機の方式比較

方式	アナログ直交	デジタル直交	デジタル・アナログ直交組合せ
DAC・ADC 点数	× DAC 2個 ADC 2個	○ DAC 1個 ADC 1個	△ DAC 1個 ADC 2個
IF部品	○ 少ない	× 多い	△ やや多い
IQ誤差	× あり	○ なし	△ あり(補正可)
Fs	○ 100MHz 以上	× 200MHz 以上	△ 200MHz(DAC) 100MHz(ADC) 以上

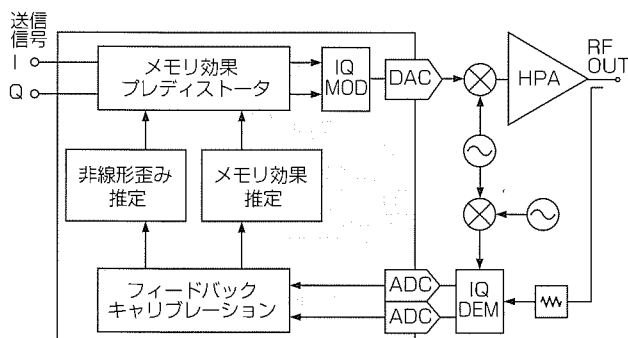


図3. DPD歪み補償回路の構成(1 ブランチ)

みとメモリ効果をそれぞれ推定し、結果をメモリ効果プレディストータの係数に反映することで、HPAで発生するメモリ効果を持つ非線形歪みを補償する。メモリ効果プレディストータでは、メモリ効果を持つ非線形逆歪み信号を生成する。非線形歪み及びメモリ効果推定部では、劣化を要素に分けて推定することで個々の推定精度を向上させ、歪み補償量の改善を図っている。また、フィードバックキャリアレーション回路では、送信中のOFDM信号データを用いて運用中にIQ誤差及びループ遅延の自動検出補正を行う<sup>(6)</sup>。

非線形歪み推定部では、アナログ系の特性変動によらず安定した収束特性が実現できるウェイト除算型の適応アルゴリズム<sup>(7)</sup>を採用した。このアルゴリズムでは、高出力増幅器からのフィードバック信号を参照信号として使用し、参照信号を複素ウェイト(PD係数)で除算したのちに、正規化最小平均二乗法を用いて収束計算を行う。

4. 高出力増幅器

図4にHPAの構成を示す。HPAはドライバ増幅器とドハティ増幅器から構成され、信頼性及びコストに優れたシリコンデバイス(LDMOS FET(Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor))を半導体デバイスとして採用した。送信時の低消費電力化を図るため、HPAの最終段にドハティ増幅器を適用し、受信時の待機電力削減のため、TDD(Time Domain Duplex)制御に連動して増幅器のバイアスのON/OFF切替えを行っている。

ドハティ増幅器は、AB級のキャリア増幅器とC級のピーク増幅器を並列合成した増幅器であり、1/4波長線路を介してキャリア増幅器とピーク増幅器を接続することで、キャリア増幅器の出力負荷が入力信号の瞬時振幅に応じてダイナミックに変調される。このため、ドハティ増幅器はバックオフ領域での効率が通常のAB級増幅器と比較して飛躍的に向上する特長がある反面、AB級増幅器と比較してメモリ効果が発生しやすいという課題を抱えていた。そこでこのHPAでは、ドハティ増幅器のバイアス回路を通

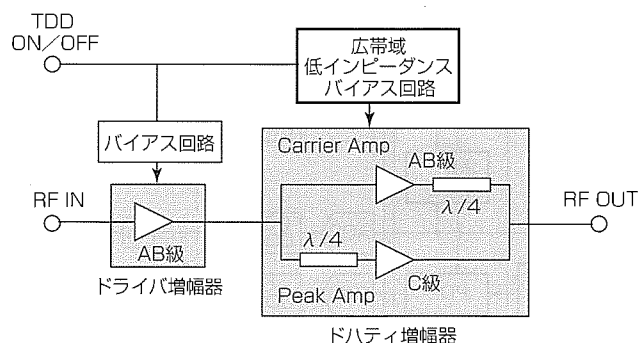


図4. HPAの構成(1 ブランチ)

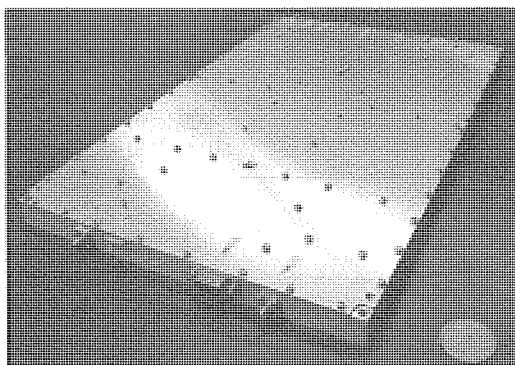


図5. HPAの外観(2 ブランチ)

常よりも広帯域かつ低インピーダンスに設計することで、半導体デバイスの偶数次の非線形性と入力信号のミキシングによってベースバンド周波数帯に生じる歪みの発生量を低減した。これによって、半導体デバイスで、ベースバンド周波数帯の偶数次歪みが入力信号と再ミキシングすることによって生じるメモリ効果歪みの発生を低減し、ドハティ増幅器によるメモリ効果の発生を抑圧した。

### 5. 評価結果

図5にHPAの外観を示し、図6にDPD電力増幅器の歪み補償実験結果を示す。実験は2.6GHz帯で帯域10MHz、2キャリアでのWiMAX信号に対して、変調精度-33dB以下を満足する範囲内でピーク抑圧処理を施した信号を用いて行った。その結果、効率24.5%、中心周波数から20MHz離調点での歪みレベルとして-52dBrを達成した。

### 6. むすび

モバイルWiMAX基地局用のDPD電力増幅器を開発した。メモリ効果歪みの発生量を抑えながら高効率化を実現するために、HPAではシリコンデバイスを用いたドハティ増幅器を採用し、DPDで非線形歪みとメモリ効果をそれぞれ推定することでメモリ効果を持つ非線形歪みを補償した。またDPD送受信機では、フィードバック系にアナログ直交復調を用いたデジタル・アナログ直交組合せ方式を採用し、送信中のOFDM信号データを用いてフィードバック系で生じるIQ誤差及びループ遅延の自動検出補正を行った。その結果、シリコンデバイスを用いた高出力増幅器としては世界トップクラスの効率24.5%、歪み-52dBr

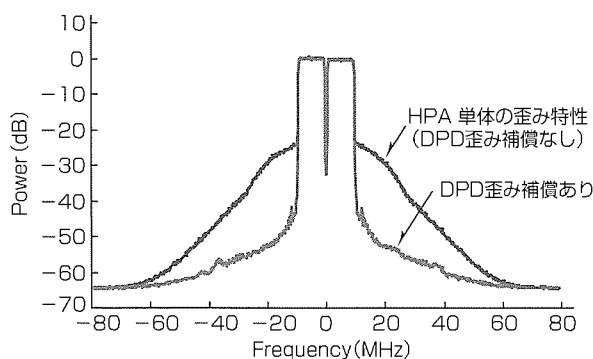


図6. DPD電力増幅器の出力スペクトラム (2チャンネル共通増幅波形)

(DPD歪み補償あり)を達成し、次世代移動体通信基地局装置の低消費電力化、小型・軽量化を実現した。

### 参考文献

- (1) Nagata, Y., et al.: Linear amplification technique for digital mobile communications, Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, 159~164 (1989)
- (2) Doherty, W. H.: A new high efficiency power amplifier for modulated waves, Proc. IRE, **24**, No.9, 1163~1182 (1936)
- (3) Horiguchi, K., et al.: Efficiency enhancement of a digital predistortion Doherty amplifier transmitter using a virtual open stub technique, IEICE transaction electron, **E90-C**, No.9, 1670~1677 (2007)
- (4) 山内和久, ほか: 次世代移動体通信基地局用3-way 200W LDMOS ドハティ増幅器, 電子情報通信学会総合大会, C-2-33 (2008)
- (5) 堀口健一, ほか: 次世代移動体通信基地局向けデジタルプレディストーション歪み補償回路, 電子情報通信学会総合大会, C-2-43 (2008)
- (6) 安藤暢彦, ほか: 電力増幅器の非線形出力信号を用いた直交変調器のIQ誤差補償方法, 電子情報通信学会総合大会, B-5-3 (2006)
- (7) Horiguchi, K., et al.: A UHF-band digital predistortion power amplifier using weight divided adaptive algorithm, IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2019~2022 (2007)

# 監視映像の遠隔配信技術

野田忠義\* 平松隆宏\*\*  
 中島宏一\*\*  
 川村秀男\*\*

## Video Distribution for CCTV Surveillance System

Tadayoshi Noda, Koichi Nakashima, Hideo Kawamura, Takahiro Hiramatsu

### 要旨

安全、安心に対する意識が高まる社会環境の中、従来のCCTV(Closed Circuit Television)監視システムでのローカル監視に加え、設置場所から離れて監視するリモート監視への要求が高まっている。

また通信インフラのブロードバンド化、低価格化が進み、監視映像を遠隔に配信するシステム構築が現実化してきている。

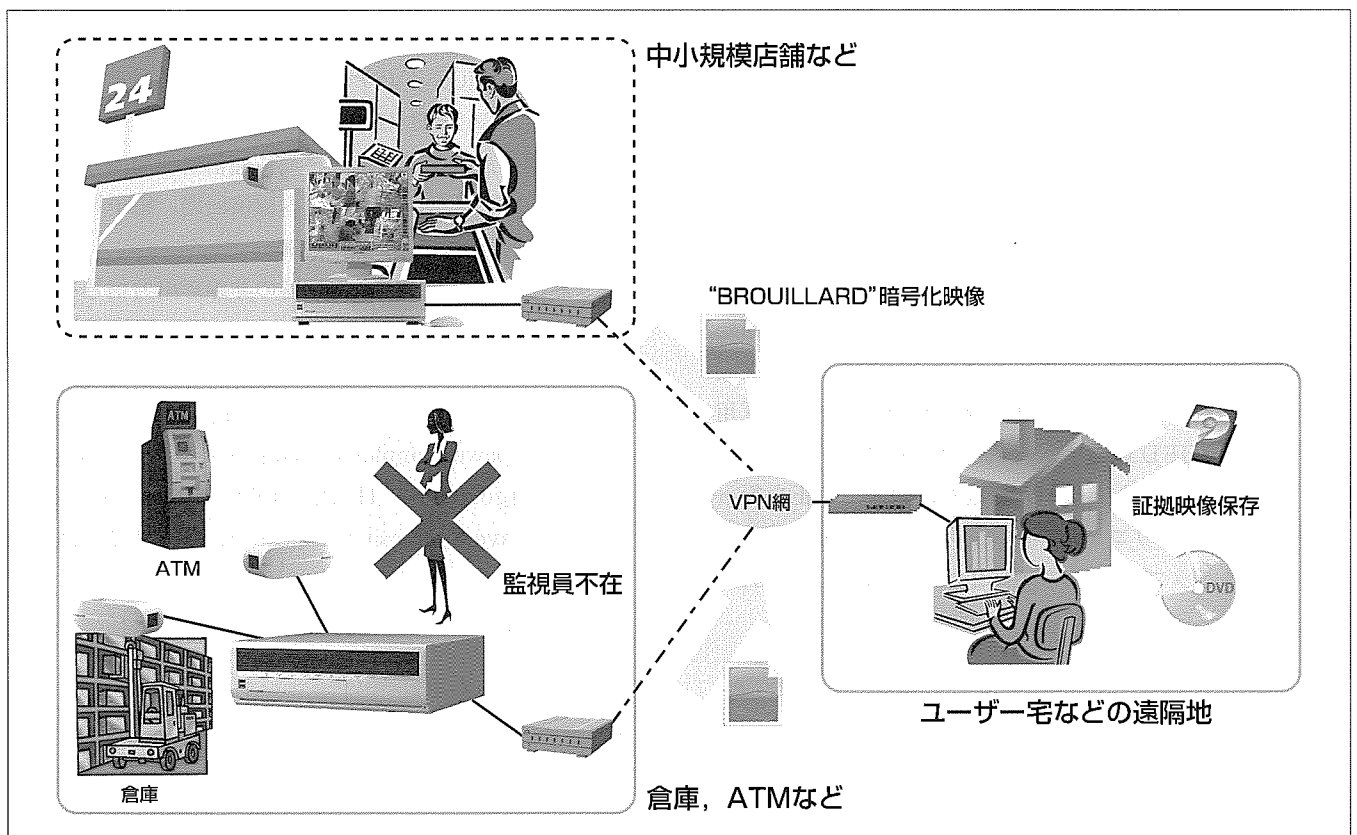
三菱電機の“MELOOK  $\mu$ ”シリーズは、アナログCCTV監視システムでは実現不可能なメガピクセル画質をアナログ機種並みの価格で提供し、高いコストパフォーマンスを実現している。遠隔地でカメラ映像を見たいというニーズにこたえるため、MELOOK  $\mu$ シリーズでVPN(Virtual Private Network)網経由でメガピクセル画質を映像配信可能とするWeb(World Wide Web)配信機能を

(注1) MELOOK  $\mu$ , MISTY, BROUILLARDは、三菱電機㈱の登録商標である。

2009年3月にリリースした。MELOOK  $\mu$ シリーズの特徴である、メガピクセル画像をWeb配信機能で遠隔地へ配信可能とすることで、高解像度なデジタルCCTV遠隔監視システムが汎用パソコンとブラウザという簡易な構成で実現可能となった。

このシステムはWeb配信による映像配信を実現し、“MISTY”ファミリー“BROUILLARD(ブレイヤール)”暗号による盗聴対策、ネットワーク通信における揺らぎ対策、通信処理応答性能の向上を実現した。さらに遠隔地のパソコンではマウスによる簡単操作、再生映像の保存を行うことができ、ユーザーの利便性向上を図った。

今後も、映像監視において遠隔で監視するニーズはますます高くなると思われる。この中で、顧客満足度向上を最優先に機能開発を行い、安全、安心を実現する映像監視システムの構築を推進していく。



### 遠隔配信技術を活用した映像監視システムの構成

ネットワーク技術によって監視映像を遠隔地へ映像配信することで、監視員が常駐できない場所への適用、監視員の削減が可能である。例えばコンビニエンスストアでの監視業務、倉庫・無人ATM(Automated Teller Machine)などへの適用が期待される。



## 1. ま え が き

安全、安心に対する意識が高まる社会環境の中、従来のデジタルCCTV監視システムでのローカル監視に加え、設置場所から離れた遠隔からの監視要求が高まっている。

当社のMELOOK  $\mu$  シリーズは、アナログCCTV監視システムでは実現不可能なメガピクセル画質をアナログ機種並みの価格で提供し、高いコストパフォーマンスを実現している。遠隔地でカメラ映像を見るというニーズにこたえるため、MELOOK  $\mu$  シリーズで、CPU(Central Processing Unit) 負荷低減のためのバースト・ジッタ抑圧技術、Keep-alive機能、共有メモリ通信技術を適用したWeb配信機能を開発した。この結果、既存ハードウェアを変更することなく、遠隔パソコン側は汎用パソコンとブラウザという簡易な構成で、機密性の高い高解像度なデジタルCCTV遠隔監視システムが容易に実現可能となった。

本稿では、MELOOK  $\mu$  シリーズの監視映像遠隔配信機能について述べる。

## 2. MELOOK $\mu$ の概要

当社のMELOOK  $\mu$  シリーズは、アナログ機種並みの導入コストとSXVGA(Super eXtended Video Graphics Array)(1,280×960画素)の高解像度監視の要求にこたえた、小規模店舗向けデジタルCCTVシステムである。

MELOOK  $\mu$  シリーズの主な特長を次に示す。

### (1) メガピクセル画質

人物の特定などに有効な高解像度(123万画素)、高フレームレート(毎秒15コマ)のカメラが接続可能である。

### (2) 暗号化による記録映像のセキュリティを確保

記録映像に対して“BROUILLARD”暗号方式を適用し<sup>(2)</sup>、認証ユーザー以外の不正閲覧の禁止、ハードディスク装置の盗難に対して高いセキュリティを確保している。

### (3) 簡単操作

マウスのみで操作可能な操作メニューをMELOOK  $\mu$  レコーダ(以下“レコーダ”という。)で提供している。

## 3. 遠隔監視システム

### 3.1 概 要

監視対象側のレコーダと遠隔監視側のパソコンをVPN網で接続し、監視対象のライブ・再生映像とレコーダ状態・アラーム・機器故障情報の配信を行う。

システム構成を図1に示す。VPN網でネットワーク接続された監視対象側に設置したレコーダと、遠隔監視側の遠隔パソコン及びレコーダに接続されたカメラで構成する。レコーダに追加した遠隔配信機能によって、レコーダ接続カメラのライブ映像及び再生映像が遠隔パソコンへ配信される。

### 3.2 特 長

このシステムの特長を次に示す。

#### (1) レコーダ本体GUI(Graphical User Interface)デザインを踏襲した全画面表示GUIの採用

遠隔パソコン上でマウスのみで操作可能な操作メニューを提供している。

#### (2) メガピクセル監視映像の配信を実現

メガピクセル監視映像を配信することで、高解像度デジタルCCTV遠隔監視システムが可能となる。

#### (3) 証拠画像の確保を遠隔で実現

再生映像をJPEG(Joint Photographic Experts Group)形式で遠隔パソコン上に蓄積することで、確認のたびに毎回レコーダからの再生が不要となり、遠隔地での証拠画像の取り出しを容易にしている。

#### (4) レコーダの運用状態確認を遠隔でも実現

映像監視だけでなく、接続カメラを含むレコーダの機器監視も遠隔パソコンで可能とし、長時間記録失敗などを回避できる。

#### (5) 暗号化で高いセキュリティを実現

レコーダと遠隔パソコン間は、BROUILLARD暗号で高いセキュリティを確保している。

### 3.3 仕 様

このシステムのレコーダの仕様を表1に、遠隔パソコンの仕様を表2に示す。

### 3.4 機 能

この遠隔配信システム機能を次に示す(図2)。

#### (1) レコーダ状態表示

現在のレコーダ状態(機器故障状態、記録中状態、アラーム発生中状態、コピー中、再生中など)を遠隔パソコンでモニタすることができる。

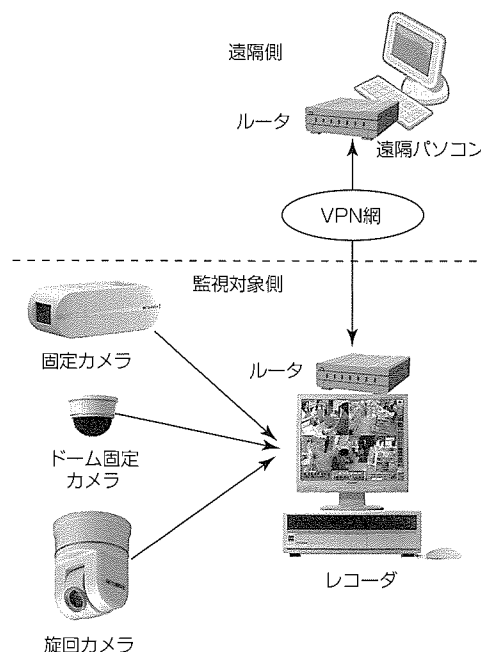


図1. 遠隔配信システムの構成

またアラーム発生時には遠隔パソコンでアラーム音を鳴動させ、緊急性のあるイベントをユーザーに通知できる。

(2) アラーム・機器故障リスト表示

過去に発生したアラーム及び機器故障のリストを遠隔パソコンで表示できる。

(3) 再生映像の遠隔パソコン保存・表示

遠隔パソコンで再生映像をJPEG映像として保存可能で、証拠映像の確保が可能となっている。

(4) カメラ選択・表示

遠隔パソコンのGUIによって、カメラ番号をクリックするだけの容易なカメラ選択ができる。

(5) カメラ制御

遠隔パソコンのGUIによって、所定撮像位置へ巡回カメラの方向を制御できる。

(6) ライブ映像表示

遠隔パソコンで、レコーダ本体接続カメラのライブ映像を表示することができる。

(7) 記録映像再生

レコーダ本体に蓄積した映像を、日時指定、ちょっと前再生(直前映像の再生)指定、アラームリスト指定で遠隔パソコンに表示できる。

(8) 配信レート制御

ネットワークの回線品質に応じて配信レートを遠隔パソコンで設定できるようにしている。

(9) アクセス管理

アクセス管理はレコーダで行い、レコーダ本体と同じ3つのユーザー権限で遠隔パソコン側の機能制限を設け情報漏洩(ろうえい)防止やプライバシー保護に配慮している。

3.5 遠隔映像監視適用技術

通常動画ではRTSP(Real Time Streaming Protocol)/RTP(Real-time Transport Protocol)プロトコルによるストリーミング技術が用いられるが、HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)プロトコルを使用することで、次のことを実現している。

①パソコンのファイアウォールを標準で透過可能で新たなポートの開放が不要(VPN網上で通信を行い、暗号化の上セキュリティ設定を実施)

②配信開始にあたりRTSPより少ないメッセージで起動可能で、出画時間を短縮

このシステムのソフトウェアブロックを図3に示す。レコーダ本体にWebサーバとWeb配信モジュールを組み合わせ、遠隔パソコンではInternet Explorer(IE)(Webブラウザ)上で遠隔監視アプリケーションを動作させている。このシステムでは次の遠隔映像監視技術を採用している。

(1) バースト・ジッタ抑圧によるCPU負荷増加対策

ネットワーク伝送中にパケットロス等が発生すると、再送処理が発生し、送信先に到達する時間が揺らぐジッタが発生する。またネットワーク中のルータ性能などでパケットが集中的に伝送されるバーストが発生する。これらの事象は、CPU負荷の増大などにつながり、システム運用上好ましくない。このシステムでは、レコーダのWebリクエスト処理部でリクエストのタイムスタンプを管理し、不

表1. レコーダの仕様

項目	内容
配信プロトコル	HTTPプロトコル <sup>(注3)</sup>
同時接続数	1
ユーザー管理	ログインレベル管理(4レベル)
ネットワーク帯域	100Mbps以上
セキュリティ	"BROUILLARD"暗号
映像配信レート	VGA <sup>(注2)</sup> 4fps, SXVGA 1fps

(注2) VGA(Video Graphics Array)は、640×480画素の解像度を表す。

表2. 遠隔パソコンの仕様

項目	内容
OS	Windows <sup>(注3)</sup> XP SP3
WEBブラウザ	Internet Explorer <sup>(注3)</sup>
ネットワーク	100Mbps以上
画像表示サイズ	1,200×900
同時接続数	1
モニタ解像度	SXGA <sup>(注4)</sup> 以上

(注3) Windows, Internet Explorerは、Microsoft Corp.の登録商標である。

(注4) SXGA(Super eXtended Graphics Array)は、1,280×1,024画素の解像度を表す。



図2. 遠隔パソコンのGUI

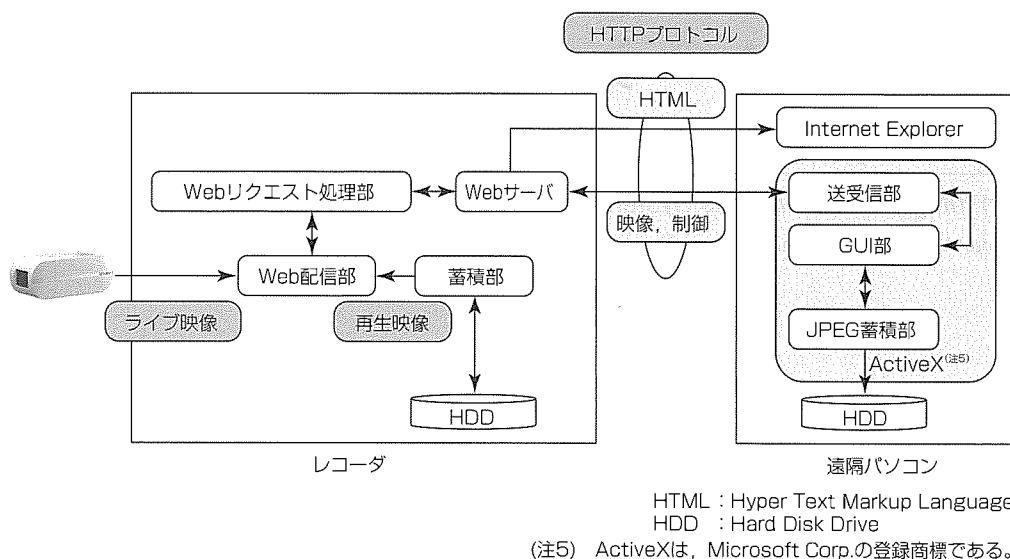


図3. ソフトウェアブロック図

正時刻のリクエストを破棄することでCPU負荷増加を抑圧している。

(2) 通信処理応答性能の向上

通常HTTP通信では複数のリクエスト・レスポンスでデータ交換が行われ、その都度TCP(Transmission Control Protocol)接続が行われる。この場合CPU負荷が増大するという課題がある。このシステムではWebサーバとの間で確立した接続が転送終了後も維持され、2回目以降のリクエストではこの接続をそのまま使用できるKeep-alive機能を適用し、TCP接続にかかるCPU負荷を低減させるようにしている。

またHTTPリクエスト・レスポンス処理を一般的なCGI(Common Gateway Interface)に換えて、Webサーバ専用拡張モジュールを採用し、さらにWebサーバ専用拡張モジュールとWeb配信用映像送信・制御用モジュールとを共有メモリで結合することで、応答性の向上を図っている。

(3) 監視業務に最適化した簡単GUIメニュー

遠隔パソコン上にIE上で動作するActiveXで全画面表示を行うことで、ユーザーの他アプリ等の起動による性能低下抑止と監視映像の精細表示を実現した(図2)。

(1), (2)によってCPU負荷を抑えたことで、ハードウェアを変更することなく既存MELOOK $\mu$ レコーダにWeb配信機能を適用できた。

4. む す び

この映像監視システムでは単に映像配信に留まらず、レコーダの状態表示、アラーム・機器故障リスト表示が可能で、レコーダ状態監視を遠隔で行えるようにしたことで、システム異常時の対応が迅速に行える。また遠隔パソコン上で再生映像の保存・表示ができるようにしたことで、現地に移動せずに証拠映像などの確保が可能となっている。

今後も映像監視において遠隔で監視するニーズはますます高くなると思われる。この中で顧客満足度向上を最優先に機能開発を行い、安全、安心を実現する映像監視システムの構築を推進していく。

参 考 文 献

- (1) 上田智弘, ほか: 三菱デジタルCCTVシステム“MELOOK $\mu$ ”, 三菱電機技報, 82, No.9, 557~560 (2008)
- (2) 山口晃由, ほか: 三菱デジタルCCTVシステム“MELOOK $\mu$ ”の映像情報セキュリティ, 三菱電機技報, 82, No.5, 333~336 (2008)
- (3) Fielding, R., et al.: Hypertext Transfer Protocol-HTTP/1.1 RFC2616 (1999)

# 次世代統合オペレーションシステム “MELOpS”

松下年伸\* 馬場義晶†  
小林 敦\*\* 高井伸之†  
土田 充\*\*\*

Next Generation Integrated Operations System“MELOpS”

Toshinobu Matsushita, Atsushi Kobayashi, Mitsuru Tsuchida, Yoshimasa Baba, Nobuyuki Takai

## 要 旨

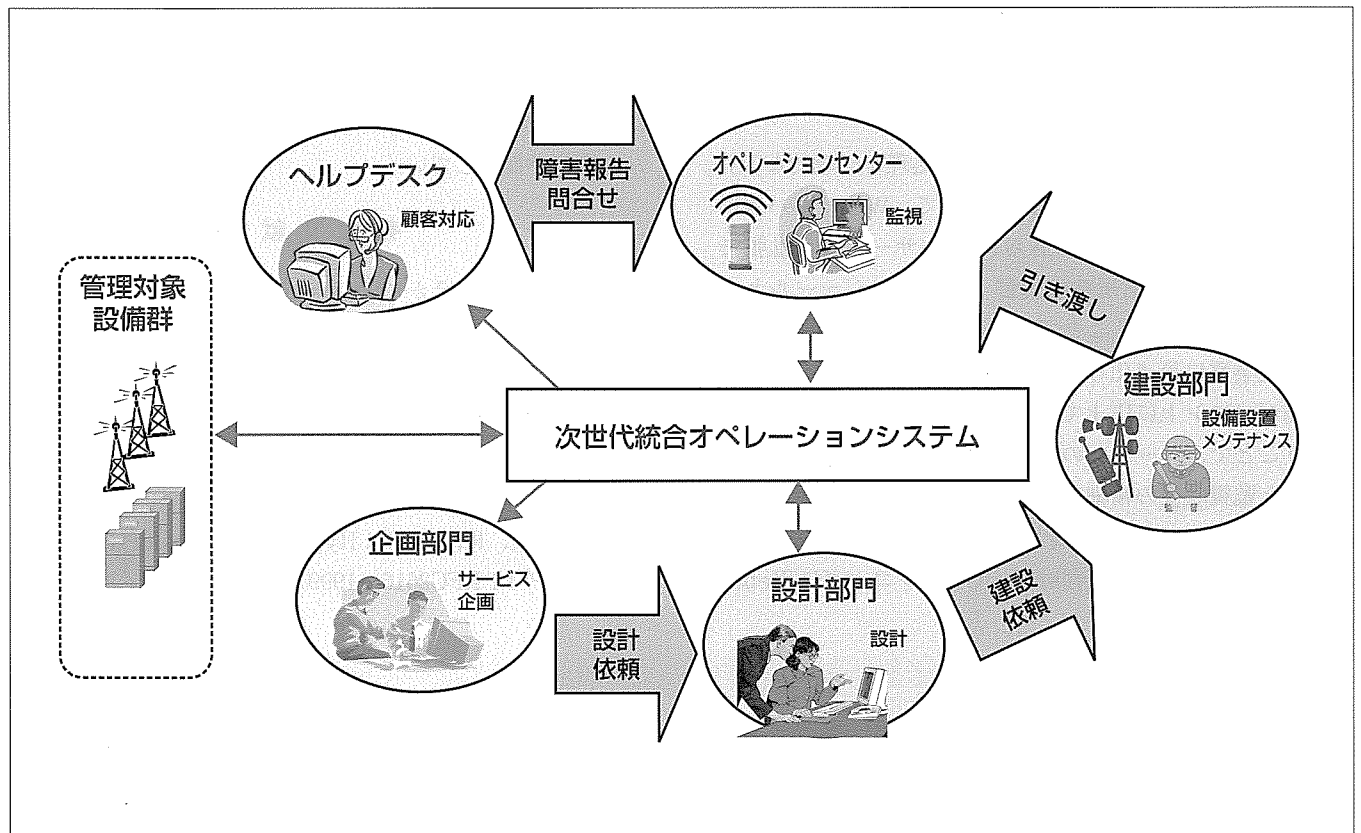
近年、通信サービスの多様化・大容量化要求にこたえるために、IP技術による次世代ネットワーク（Next Generation Network：NGN）の構築が進んでいる。その中で通信キャリア各社は、低コスト化、高信頼化及び新規サービスの迅速な立ち上げのため、網構築・運用体制の強化、サービス運営費用（OPerating EXpense：OPEX）の削減等の課題を抱えている。

三菱通信キャリア向け統合オペレーションシステム“MELOpS<sup>(注1)</sup>”はITIL<sup>(注2)</sup>（Information Technology Infra-

- (注1) MELOpSは、三菱電機インフォメーションシステムズ㈱の登録商標である。  
(注2) ITILは、英国政府機関OGC（Office of Government Commerce）が策定した運用管理のフレームワークの名称（登録商標）である。

structure Library）及びNGOSS<sup>(注3)</sup>（Next Generation Operations Systems and Software）に適合し、構成管理データベースCMDB（Configuration Management Database）を中心に企画部門、設計部門、オペレーションセンター等の通信サービス・ライフサイクル全体の業務を連携（フロールー）させて、運用管理業務を効率化するとともに、新規サービスの立ち上げに柔軟かつ迅速に対応できる業務基盤を提供する。また、各通信キャリア固有の業務に対しても、これまでに蓄積してきた構成管理データベースのテンプレートをカスタマイズすることで、新規システムを迅速かつ効率的に構築できることを特長としている。

- (注3) NGOSSは、TMF（Tele Management Forum）が策定した運用管理のフレームワークである。



## 三菱通信キャリア向け統合オペレーションシステム“MELOpS”

MELOpSはCMDBの情報を共有することによって、通信サービス・ライフサイクルにおける各部門の業務を連携させて運用コストの削減、サービスの高信頼化、及び新規サービス導入時の迅速な立ち上げを実現する。

## 1. ま え が き

通信と放送の融合、移動体通信やデータ系トラフィックの拡大等、通信サービスの多様化・大容量化要求にこたえるために、IP技術による次世代ネットワーク(NGN)の構築が進んでいる。通信キャリア各社にとっては、通信サービスの社会インフラ化に伴う高信頼化と低コスト化要求の両立、新規サービスへの迅速な対応に向けて、網構築・運用体制の強化、サービス運営費用(OPEX)の削減等が課題となっている。

本稿では、これらの課題を解決するソリューションとして、三菱電機・三菱電機インフォメーションシステムズ(株)(MDIS)が提供する統合オペレーションシステムMELOpSについて述べる。

## 2. 運用管理の要求の変化

次世代の通信ネットワーク運用管理では、オールIP化によるインフラとしての脆弱(ぜいじゃく)性を補完しつつ、低コスト化、迅速なサービス展開を可能とする運用管理業務の高度化・高効率化が求められる。

従来のオペレーションシステムでは、サービス企画から設計・建設、運用に至るライフサイクルの各業務担当部門によって個別にシステムが構築され、部門間ではオフラインで連絡が取られることによって、しばしばデータ入力作業の負荷増大・信頼性の低下を招いていた。これに対して、ライフサイクル全体を通じた業務フロースルー化が求められている。

また、従来各業務の品質確保は運用要員の個人スキルに依存する度合いが高く、運用要員の確保・育成コストの負担が増大していた。これに対して、各業務システムの自動化・高度化、また適切な作業支援機構が求められている。

## 3. MELOpSのアーキテクチャ

### 3.1 基本構成

三菱通信キャリア向け統合オペレーションシステムMELOpSは、従来の運用管理の課題を解決するソリューションであり、IP(Internet Protocol)ネットワークを構成する通信機器(ルータ、スイッチ、ロードバランサ、ファイアウォール、ゲートウェイ装置等)やIPネットワークに接続される各種サーバ装置の監視機能及び、それらの運用を支援する機能を提供する。MELOpSは多様な管理対象機器に対して、各装置管理サブシステムを介して障害監視、性能監視やプロビジョニングを実現する(図1)。

MELOpSは、市場・顧客管理、サービス管理等の適用分野をカバーする企画、設計・建設、運用等の業務ブロック群と、各業務上の情報を一元的に管理する統合化CMDBから構成される。各ブロックをCMDBを介して連

携させることによって、システム全体の効率性とデータの完全性を実現し、業務フロースルー化を実現する。また、各ブロックのサブシステムとCMDBを必要に応じて組み合わせることによって、各通信キャリア固有の要望に合わせたオペレーションシステムを構築することが可能である。

### 3.2 CMDBの実現

#### 3.2.1 CMDB基本モデルの概要

CMDBは、部門横通しの情報の共有化と一元管理を実現する。MELOpSでは、その構造を基本モデルとして定めている(図2)。CMDB基本モデルは、ライフサイクル上の各業務に対応したCMDBモジュール群、及びCMDBモジュール間にまたがってデータを利用するための仮想テーブル機能で構成される。またCMDBモジュール間では、モジュール間のデータ同士を関連付ける連携キーが定義される。

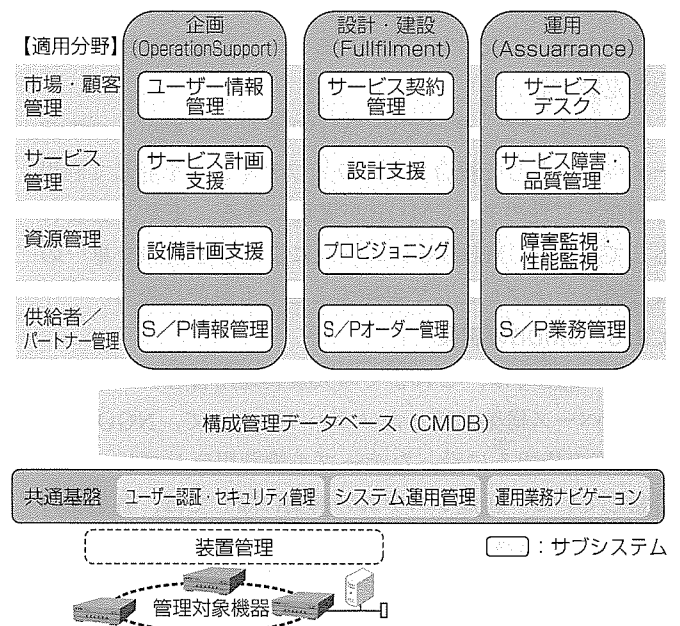


図1. MELOpSの基本構成

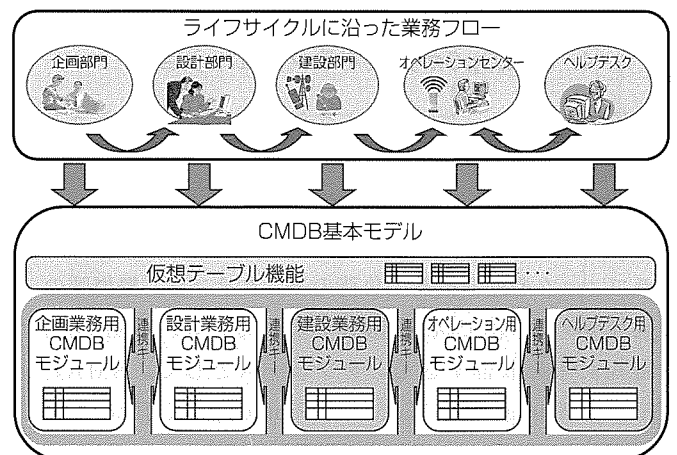


図2. CMDB基本モデルの概念図

### 3.2.2 CMDB基本モデルの特徴

#### (1) CMDBのモジュール化

CMDB基本モデルでは、業務単位のCMDBモジュールの組合せによってCMDB全体を構成する方式としている。CMDBの設計に際しては、まずすべての業務上で必要な情報を整理し、次に各情報の主管部門を定め、各CMDBモジュールに分離・割り当てる。そして、CMDBモジュール間の連携キーを決定する。その後各主管部門に対応して、CMDBモジュールごとのデータベース詳細設計を進めていく。

この手順によって、業務上の多種多様な情報からなる大規模データベースの設計が容易になり、部門間調整等の負担が低減できる。

#### (2) CMDBモジュール間の連携キー定義

ライフサイクル上で隣接する業務の間では、担当者同士で何らかの情報の伝達が行われる。CMDB基本モデルでは、業務上で伝達される情報の中からキーとなる基幹項目を抽出して、対応するCMDBモジュール間の連携キーとして定義する。

これによって、すべてのCMDBモジュールが一つのデータベースとして統合され、ライフサイクルを通じて利用可能な一貫性のあるCMDBが実現できる。また、必要に応じて複数のCMDBモジュールにまたがる情報を単一の仮想的なテーブルとして参照することも可能になる。

### 3.2.3 CMDBの実装

MELOpSでは、これまでの大規模運用管理システムのデータベース構築で培ったノウハウをもって、NGOSSやITIL等の枠組みに沿ったテーブル設計用テンプレートを用意している。新規システムの構築に際しては、各業務の内容に応じてCMDBモジュールをカスタマイズすることによって、顧客固有の業務フローに対応するデータベースを柔軟かつ効率的に構築可能である。またCMDB基本モデルでは、既存データベースの組み込みも可能であり、既存データベースを生かしながら段階的にマイグレーションすることができる。

## 4. MELOpSが提供するソリューション

MELOpSでは、次に示すような独自のソリューションを提供する。

#### 4.1 故障箇所と影響範囲の迅速な特定

通信キャリアでは、単純な機器の故障検出だけではなく、トラフィックや通信機器の負荷のモニタリング、擬似呼の投入等様々な手法で状態監視が行われている。MELOpSは監視対象を収容するインターフェースとして、SMNP (Simple Management Network Protocol), XML(eXtensible Makeup Language), CORBA(Common Object Request Broker Architecture)等の主要なプロトコルをサ

ポートしているほか、ベンダー独自のプロトコルについてもインターフェースアダプタの追加によってサポートすることで、多様な通信機器から構成されるネットワークを収容する。各通信機器から受信したアラームはMELOpSで収集され、一元的に統合管理される。収集されたアラーム個々の発生箇所情報等から、CMDBに基づくアラーム同士の関連性分析や、付帯情報までを含めた多角的な分析を行うことで、アラームの集約や故障影響範囲の特定を実現する。

例えば、通信機器の故障が原因で複数のアラームが発生した場合、従来は単一部門内の情報(例えば、設計部門での物理リンク構成と論理パス構成)だけを利用したコリレーションを行っていたのに対して、異なる部門の情報(加入者への回線割付等のサービス構成や工事スケジュール等の付帯情報)を含むCMDBを利用したコリレーションによって、効果的なアラーム集約機能を実現する。

また、アラーム情報と、CMDBで示される個々の機器との関係や加入者との関係等までを含めた多角的な関連性分析によって、ネットワークやサービス、加入者等様々な観点で障害の影響範囲を特定する(図3)。

#### 4.2 プロアクティブ監視による障害の未然防止

MELOpSはトラフィックや通信機器の負荷の推移を常時収集して、ネットワークの稼働状況の“見える化”を実現する(図4)。

また、収集した稼働情報に独自の統計分析手法を適用することで障害発生の予兆を事前に検知し、運用要員に障害予兆通知して、サービス停止等突然の通信障害を未然に防止する措置を促すことができる。さらに長期的なトラフィックの増加傾向をビジュアルに示すことで、サービスへの影響が顕在化する前にネットワーク機器の増設の必要性を運用要員に認識させることが可能である。

#### 4.3 網設計を支援する設計シミュレーション

設計支援システムは、伝送網上の論理パス(伝送路)のプロビジョニング等に際して、始点・終点や必要帯域等の指定条件に基づいて最適経路を計算し、その設定情報を自動生成する。最適経路計算時には、CMDBに保持されている網構成や資源利用状況等を参照し、指定された探索条件に応じて経路探索を行う。探索条件としては、距離(ホップ数)、サービス品質、冗長経路振り分け、負荷バランス等の最適条件や制約条件を複合的に指定することが可能である。

この自動化ツールを用いることによって、網設計業務の効率化・品質向上、網資源の利用効率化が実現される。また、設計者との対話操作によって、探索条件の指定や最適経路候補の選択も可能であり、柔軟な網設計業務を実現する。

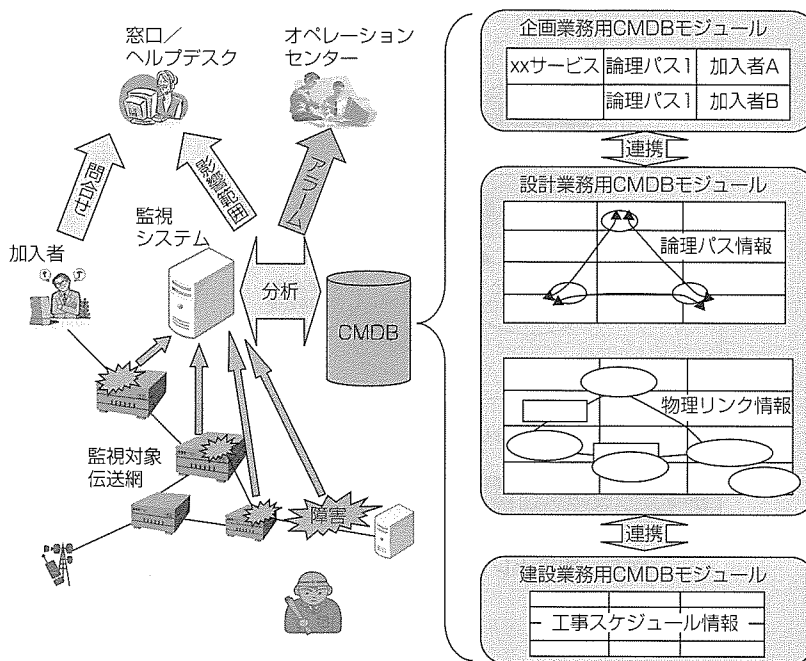


図3. 故障箇所・影響範囲の特定

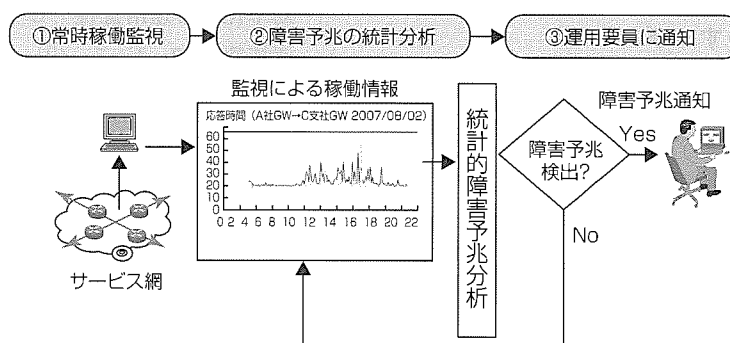


図4. プロアクティブ監視フロー

#### 4.4 運用業務ナビゲーターによる運用ナレッジ蓄積

運用業務ナビゲーターは、所定の業務手順をフローチャート形式で登録しておくことで、業務に不慣れな運用要員に対して作業指図を発し、運用要員個人のスキルに依存しない均質な業務品質を維持する。

また、運用業務ナビゲーターは運用要員個人をサポートするだけでなく、運用業務における熟練者の暗黙知をデータ化して後継者に継承していくための情報基盤でもある。熟練者の直感に基づく問題解析から対処までの手順や過去のケーススタディを体系化し、また組織の運営形態や網設備の構成変更等に応じて、常に最新状態に更新し続けるようなPDCA (Plan・Do・Check・Action) サイクルを回すことで、運用ナレッジを蓄積していく。それらは運用要員への作業指図に反映するだけでなく、運用管理を担う各種システムのチューニングにも生かし、システム全体を熟成させていく(図5)。

例えば、監視システムで問題を検知した場合のアラームを、どの運用チームにどのようなメッセージとして渡せば問題解決までの時間を短縮できるかを考慮して監視システムのアラーム発報動作を変更するなど、情報基盤が確立されていることによって現場の品質向上活動を促進することができる。

#### 5. 適用事例

MELOpSの導入事例として、大手サービスプロバイダのIPネットワーク管理システムがある。このプロバイダは法人向けのITマネジメントサービス自体を事業としてとらえ、従来の障害検出から復旧対処までを中心とした単純な監視サービスからより高付加価値・高品質なプロアクティブ・マネジメントサービスを志向して、CMDBを中心とした運用業務システムを構築している。また、運用業務ナビゲーターによる業務の標準化とスキルの均質化によ

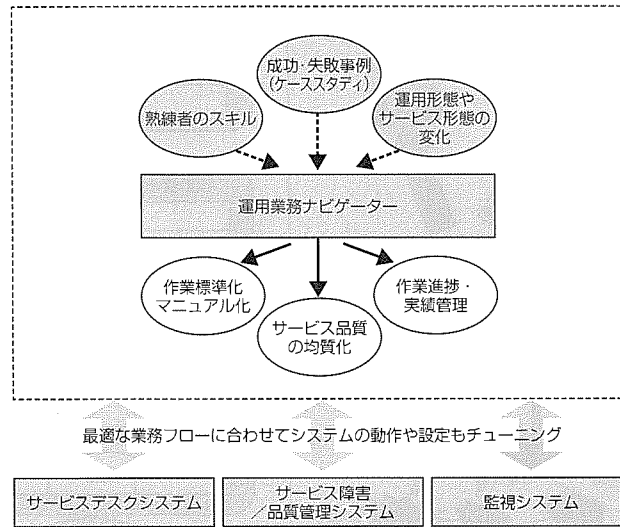


図5. 運用ナレッジによる情報システムの進化

て、加入法人や監視対象設備（サービスサーバ群，ネットワーク機器）の増大に対しても，運用要員の増員なしに対応できるようにしている。

### 6. む す び

通信自由化から20年以上が経ち，厳しい競争の中で通信キャリア各社はオールIPネットワークに社会の通信インフラを委ねようとしている。三菱電機・MDISは，長年培ってきた通信機器の運用技術と，大手通信キャリアでの実績に基づく現場の業務ノウハウ，さらにNGOSS やITIL等へ続く標準化動向を踏まえながらMELOpSシリーズの拡充に努め，キャリアのオールIPネットワーク運用を支援していく。

### 参 考 文 献

- (1) 松下年伸，ほか：ネットワークオペレーション業務を効率化する運用監視ナビゲーションシステム，三菱電機技報，82，No 7，431～434（2008）
- (2) 猪股義晴，ほか：サービスレベルと信頼性を向上させた新統合管制センターによるITILプロアクティブ運用管理サービスソリューション，三菱電機技報，80，No 4，289～292（2006）
- (3) 福田司朗，ほか：環境を支える車両動態監視システム，三菱電機技報，81，No 10，665～668（2007）



# 太陽電池モジュールの輸送効率改善

島崎晃治\*

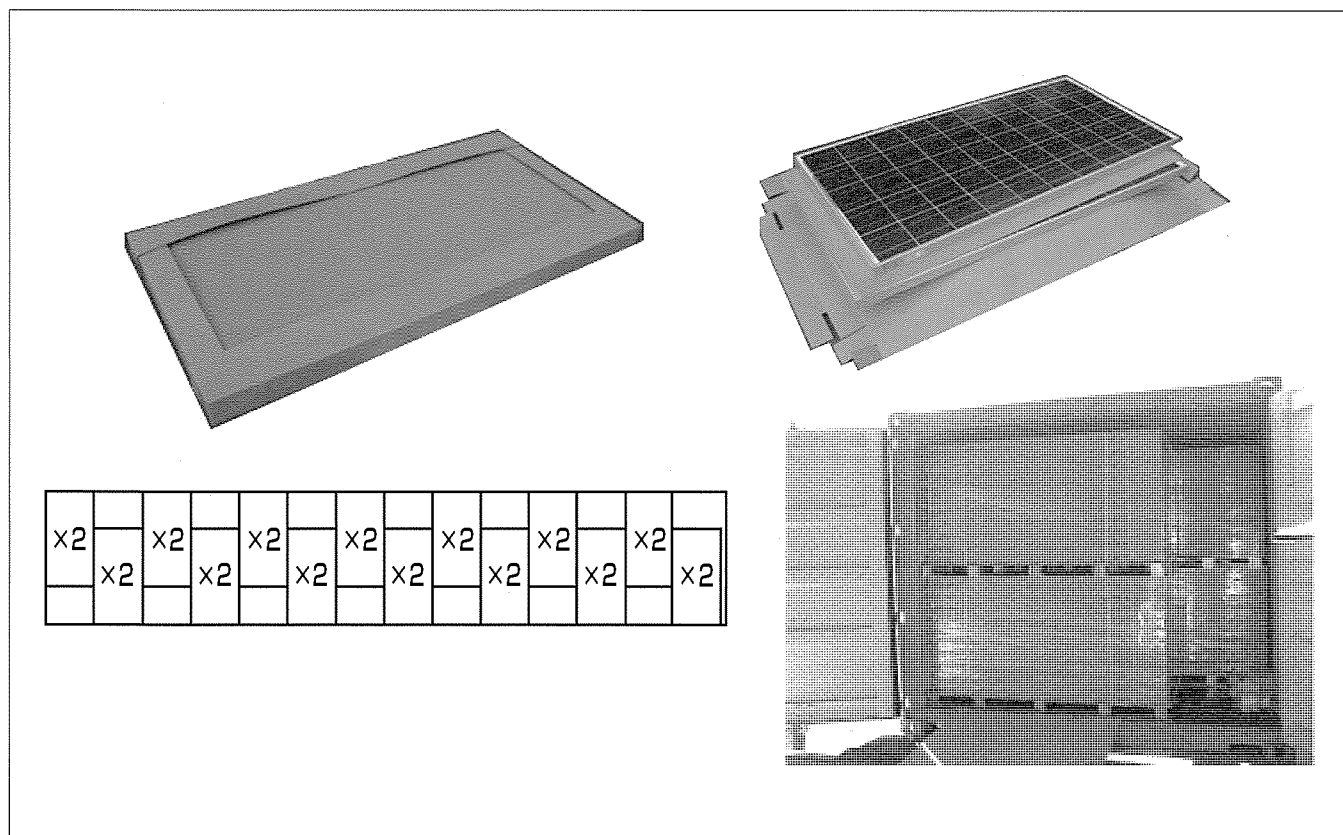
Improvement for Transportation of Photovoltaic Modules

Koji Shimasaki

## 要 旨

近年、環境への意識の高まりから、太陽光や風力といった再生可能エネルギーの導入が促進されている。太陽光発電分野では、現在世界各国で導入促進のための施策が整備され、とりわけ欧米で導入量が急速に増加している。一方、太陽電池モジュールの生産の多くを、三菱電機を含めた日本のメーカーが担っている。そのため、輸出に伴う輸送効

率の改善はますます重要となってきた。今回、海外向け太陽電池モジュールの梱包(こんぼう)に用いている段ボールの薄板化やパレットサイズの縮小といった梱包仕様の変更とコンテナへの積載形態の改善によって、コンテナ当たりの積載枚数を約35%改善し、太陽電池モジュール1枚当たりの輸送エネルギーを約20%低減した。



## 海外向け太陽電池モジュールの輸送効率改善

(上) 海外向け太陽電池モジュールの梱包形態。段ボールの薄板化と形状変更によって、梱包時の高さ・幅を最小化している。  
(下) 海外向け太陽電池モジュールの40ftコンテナ内配置図(天面から見る)(左)と実際の収納状態(右)

\*中津川製作所

## 1. ま え が き

近年、環境への意識の高まりから、太陽光や風力といった再生可能エネルギーの導入が促進されている。とりわけ太陽光発電分野では、現在世界各国で導入促進のための施策が整備され、ドイツをはじめとする欧州各国やアメリカでの導入量が急速に増えてきている。一方、太陽光発電システムを構成する太陽電池モジュール(以下“モジュール”という。)の生産・出荷量に関しては、当社を含め複数の日本メーカーが大きな割合を占めているが、欧州やアメリカでの消費拡大の背景から、多くのモジュールが海外へ輸出されている(図1)。

## 2. 製品の仕様

モジュールは、多結晶シリコンからなる太陽電池セルを所定の枚数直列に接続したものを、ガラスと樹脂及び外枠で保護した構造となっている。欧州に輸出されるモジュールの主な仕様は次のとおりである。

- ①最大出力 : 185W(代表機種: “PV-TD185MF5”)
- ②外形サイズ: 1,658×834×46(mm)
- ③質量 : 17kg

また、モジュールは輸送中の振動・衝撃から製品を保護するため、2枚一組で段ボールによって梱包されている(図2)。

## 3. モジュールの輸送に関する課題

### 3.1 モジュールの輸送にかかる燃料消費量

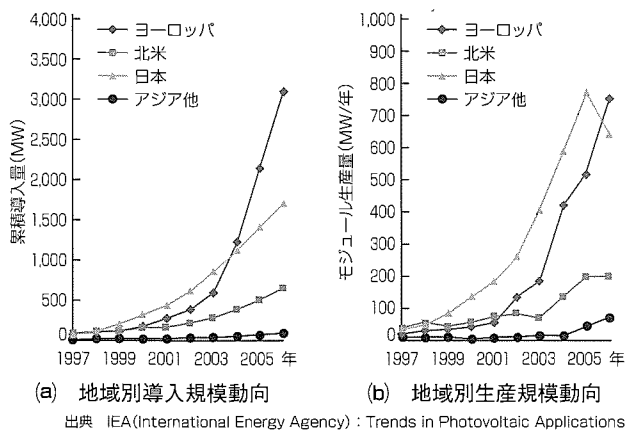


図1. 太陽電池市場動向

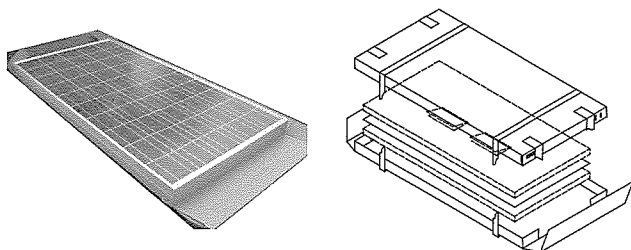


図2. 海外向け太陽電池モジュールと梱包形態

モジュールを輸出する場合、製品はコンテナに積載されたのち、海上輸送される。例えば欧州へ輸出する場合、海上輸送中に消費されるエネルギーは、モジュール1枚当たり約300MJ(CO<sub>2</sub>換算で約5kg相当)となり、国内での陸上輸送に比べ10倍以上(注1)である(表1)。

### 3.2 輸送振動耐力の確保

国内の場合、主にトラック等による輸送中の振動で製品に不具合が生じないように、製品を保護する必要がある。一方輸出の場合、トラック輸送以外に、コンテナ船への荷揚げ・荷降ろし、海上輸送、鉄道輸送等、国内とは異なる輸送形態が存在する。扱いによっては大きな振動や衝撃が発生することが想定されるため、外装面への傷つきや荷崩れが起きないように、コンテナへの積載形態には注意を払う必要がある。したがって、海外向けは国内向けに比べ梱包材使用量が多く、モジュール1台当たり約1.5倍相当となっている(図3)。

## 4. 改善の取り組み

### 4.1 従来の梱包形態における課題

従来、モジュールの製品開発で梱包設計は、おおよそモジュールの最終仕様確定した段階で製品保護の観点からなされていたが、輸出の場合、振動条件が不明確なこともあり最終的にはやや過剰な梱包仕様となっていた。

また、コンテナへの積載方法に関しても、フォークリフト作業のしやすさを優先させていたため、天井との間に大きなスペースが存在していた。また、コンテナの最後(扉)部では、梱包とコンテナ扉の間に大きな空間が生じており、複数のエアバッグで塞(ふさ)いで荷崩れを防止させていたため、敷設作業に多くの手間と時間がかかっていた(図4)。

- ①従来のパレット当たり積載枚数: 16枚(8梱包)
- ②コンテナへの積載枚数: 416枚(26パレット)

(注1) 営業用トラックで500km走行した場合との比較

表1. 1トンの荷物を1km運ぶのに消費するエネルギーの比較(2005年度)

	単位: kJ
鉄道	494
海運	528
営業用トラック	2,257
自家用トラック	11,310

出典 国土交通省: 交通関係エネルギー要覧(2005年度)

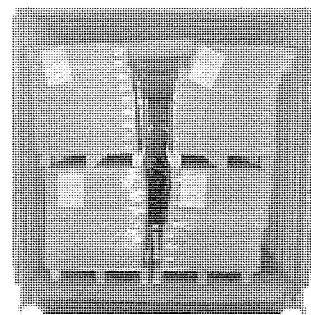


図3. 輸送中の振動による荷崩れ

## 4.2 目標仕様の設定

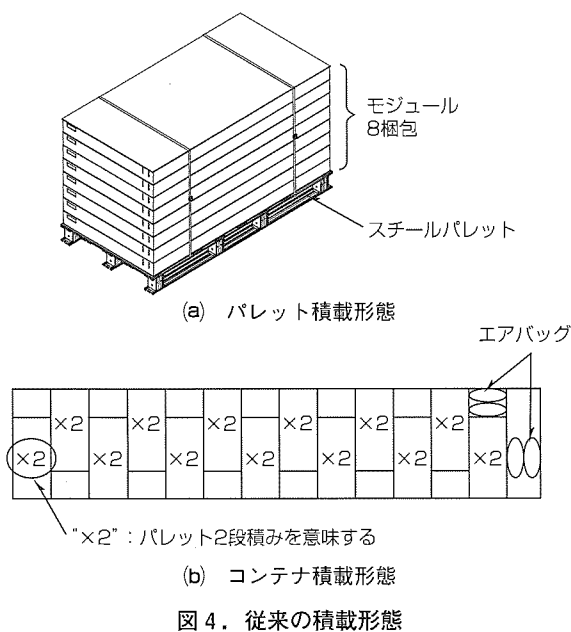
フォークリフト作業に対する制約条件を把握するとともに、コンテナ内での荷物配置を見直すことによって、次の点を目標とした。

- ①パレット当たり積載枚数：20枚(10梱包)
- ②コンテナへの積載枚数：560枚(28パレット)

## 4.3 製品梱包仕様の改善

### 4.3.1 パレット当たりの梱包積載数の改善

コンテナの高さは規格で決められているため、積載できる荷物の全高には限界がある。モジュール梱包はパレットに所定の数量平積みされたのち、コンテナへフォークリフトで搬送されるが、搬送中の上下動等を考慮すると高さ方向にスペースが必要である。そのため、薄板段ボールの採用とパレット高さの最小化に取り組み、モジュール1枚当たりに占める梱包材厚さに関して従来の半減化を実現し、パレット当たり10梱包の積載を達成した(図5、図6)。



### 4.3.2 コンテナへのパレット積載数の改善

コンテナに搬送されるパレットは奥(先頭)から順番に隙間(すきま)のないように配置されるが、パレットの奥行き寸法を最小化することによって、扉部分に生じていた余剰空間にもパレットを積載できる。しかし、パレットの外形寸法は元々モジュール梱包の外形寸法に対して余裕がなかったため、段ボール梱包の形状を変更し、奥行き方向の寸法を最小化した。これによって、パレットの寸法低減と合わせて、従来比で10mm以上寸法を低減し、扉部の空間へのパレット追加積載を可能にし、コンテナ当たり28パレットの積載を実現した(図7)。

### 4.4 輸送振動耐力の検証

従来の輸送振動試験に加え、実際にコンテナを用いた検証試験として、コンテナ内に加速度計を設置して、仕向地

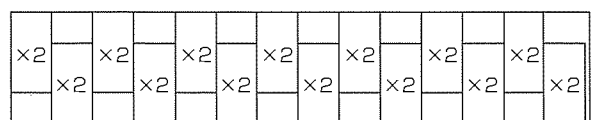
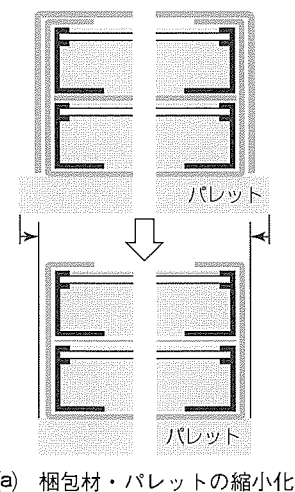
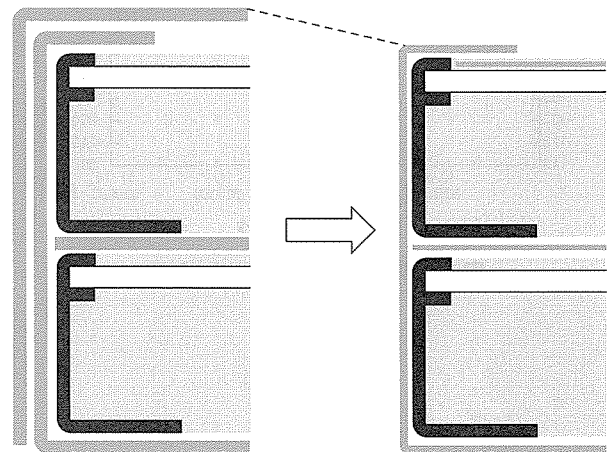
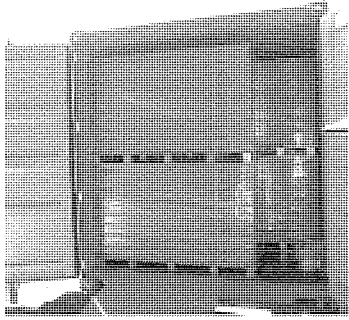
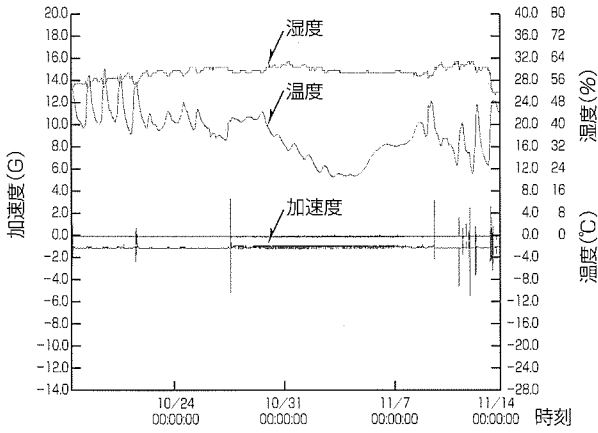


図7. パレット積載数の改善



(a) 開扉時の状態



(b) 加速度データ

図8. 実輸送による振動耐力試験

表2. 輸送効率改善に伴う効果

	改善前	改善後	改善率
コンテナ積載枚数(枚)	416	560	135%
占積率(%)	58.4	68.7	+10.3 ポイント
モジュール輸送エネルギー(MJ/枚)*	313	256	81.8%
CO2換算(kg/枚)	5.8	4.9	-0.9kg

\* 長距離輸送(欧州輸出想定)の概算消費エネルギー  
(海運: 528(MJ/ton/km), CO<sub>2</sub>排出係数: 0.0187(tC/GJ))

までの輸送中に発生する加速度(振動・衝撃)を実測した。その結果、最大加速度が4G以下であることが判明したので、荷崩れについても問題ないことを確認した(図8)。

## 5. 効果

モジュールの梱包形態を変更することによって、パレットへの梱包積載数増加とコンテナの余剰スペースへの梱包積載化を実現でき、コンテナ当たりのモジュール積載枚数を約35%増加できた。また、これによって欧州向け輸出に関しては、モジュール1枚当たりの輸送エネルギーを約2割低減することができた(表2)。

## 6. むすび

今回の改善活動を通じ、コンテナへの積載形態を考慮した梱包設計の重要性を改めて認識した。今後は更なる改善も視野に入れ、新製品へ応用するとともに輸送効率の改善を考慮した製品設計を指向したい。

# 住宅用太陽光発電システムモニタ “エコガイドTV”

春日井 誠\*  
西 大海\*

"Eco Guide TV" : Residential Photovoltaic Power Generation System Monitor

Makoto Kasugai, Omi Nishi

## 要旨

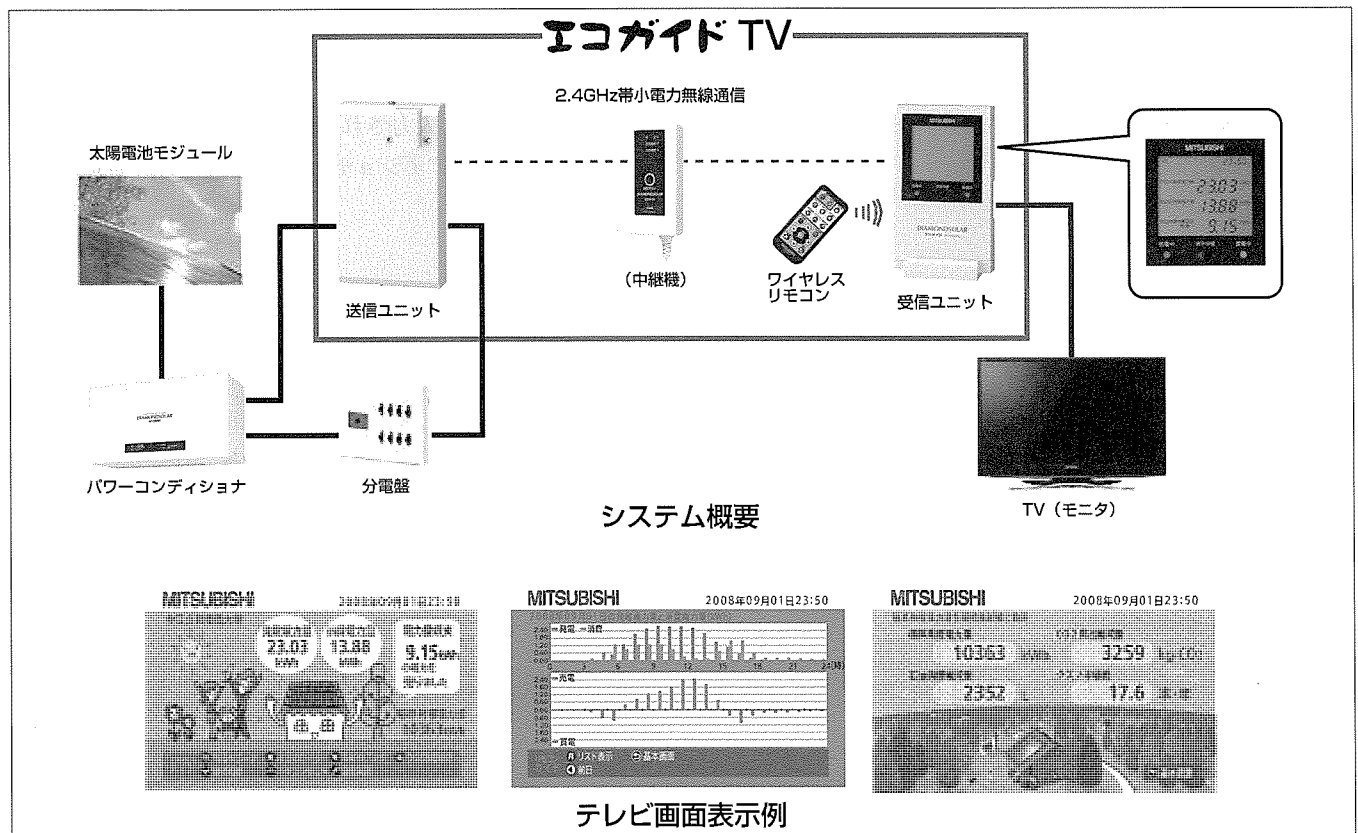
太陽光発電システムは、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果が期待できることから、有効な地球温暖化対策の一つとして今世紀に入り世界的に広く普及している。三菱電機では、太陽光発電システムの主要機器である太陽電池モジュール、パワーコンディショナ等の性能向上を図り、業界トップクラスのシステム効率を提供している。

太陽光発電システムには、付帯機器として発電量などを表示するモニタがあるが、従来の住宅用太陽光発電用モニタは比較的小さな液晶画面に発電量等を表示するため、文字が小さく、表示できる情報も限られていた。今回開発した“エコガイドTV”は、業界で初めて(注1)家庭のテレビに発電量などの情報を表示できるようにした。テレビ画面に  
(注1) 2009年1月30日現在、国内住宅用太陽光発電システム専用モニタにおいて。

表示された電力情報、環境貢献値(CO<sub>2</sub>排出削減量、石油消費削減量、楠(くすのき)植樹本数)を見ることで、家族一緒に太陽光発電システムの環境貢献効果を確認でき、子供への環境教育、省エネルギー活動への推進効果が期待できる。

エコガイドTVでは、送信ユニットが取得した電力情報を受信ユニットに無線通信して、従来必要としていた通信配線工事を不要とした。通信距離が長い場合や障害物の影響で無線通信が困難な場合でも、専用の中継機を使用することで無線通信を確保できる。

受信ユニットの液晶画面には従来どおり発電量などを表示するため、テレビを使用していないときでも、基本情報を確認することができる。



## “エコガイドTV”のシステム概要とテレビ画面の表示例

送信ユニットと受信ユニットは2.4GHz帯の小電力無線通信を行うことで、通信用の配線工事を不要としている。家庭用のテレビに、太陽光発電で発電した電力、家庭で消費した電力などを数値、グラフなど多彩な画面でわかりやすく表示する。環境貢献値を確認することで、太陽光発電を身近に実感できる。

\*中津川製作所

## 1. ま え が き

太陽光発電は地球温暖化対策のクリーンエネルギーとして注目され、今世紀に入り世界的に普及拡大が著しい。当社では太陽光発電システムの主要機器である太陽電池モジュール、パワーコンディショナの製品性能向上、品質確保を重視した製品開発を行ってきており、2008年1月に発売した階調制御パワーコンディショナ(PV-PN40G)の電力変換効率97.5%に代表されるように、業界最高<sup>(注2)</sup>の高効率太陽光発電機器を提供している。

太陽光発電システムでは付帯機器として、発電した電力を確認するための表示機器が設置される場合があり、特に公共の建物では来場者が発電量、CO<sub>2</sub>排出削減量などを確認できる大型な表示装置が設置される場合が多い。一方住宅用システムの表示機器は、小型の液晶画面に表示するモニタタイプが主流である。今回開発した“エコガイドTV”は、業界で初めて家庭のテレビ画面に発電量情報を表示する機器であり、発電量のデータ、グラフ、CO<sub>2</sub>削減量などの環境貢献度を大きな画面で見ることができる。手軽に太陽光発電の環境に対する貢献度を確認できるので、省エネルギー意識向上の手助けになると期待される。

エコガイドTVは、従来有線通信していた送信ユニットと受信ユニットとの通信を無線通信にしたことで、配線工事を不要とし施工性を向上させた。

本稿ではエコガイドTVのシステム構成と主要機器の概要、テレビへの表示画面の内容について述べる。

(注2) 2009年1月現在、国内住宅用パワーコンディショナ(量産品)の電力変換効率において。

## 2. エコガイドTVのシステム構成

### 2.1 システム構成

図1にエコガイドTVのシステム構成を示す。送信ユニットは分電盤の近くに固定して設置され、分岐ブレーカから電源AC100Vが供給される。送信ユニットはパワーコンディショナと有線接続され、発電量などのデータを取り込む一方、契約ブレーカの配線部に取り付けられた電流センサ(Current Transformer: CT)から得られる受電部の電流値から電力情報を演算して、2.4GHz帯の小電力無線通信でデータを受信ユニットへ送信する。

受信ユニットはテレビの近くに配置し、テレビのS映像(又はビデオ映像)入力にケーブルで接続し、送信ユニットから受信した発電量などの情報を画像データとして出力し、専用リモコンで受信ユニットを操作することでテレビの映像画面を切り替えることができる。

送信ユニットと受信ユニットの距離が長い場合などで無線通信ができない場合は、従来どおりの有線通信又は専用の中継機“PV-DRT01”を設置して無線通信を行うことができる。

### 2.2 送信ユニット

図2に送信ユニットのブロック図を示す。分電盤から電源AC100Vが電源回路に供給され、電圧モニタ回路によってCPU(Central Processing Unit)に系統電圧情報が入力される。分電盤内契約ブレーカ2次側の単相3線式電源線(U相、W相)にそれぞれ設置されたCTから得られる受電電流情報がCPUに入力される。太陽光で発電した電力情報は、パワーコンディショナとのシリアル通信で取り込ま

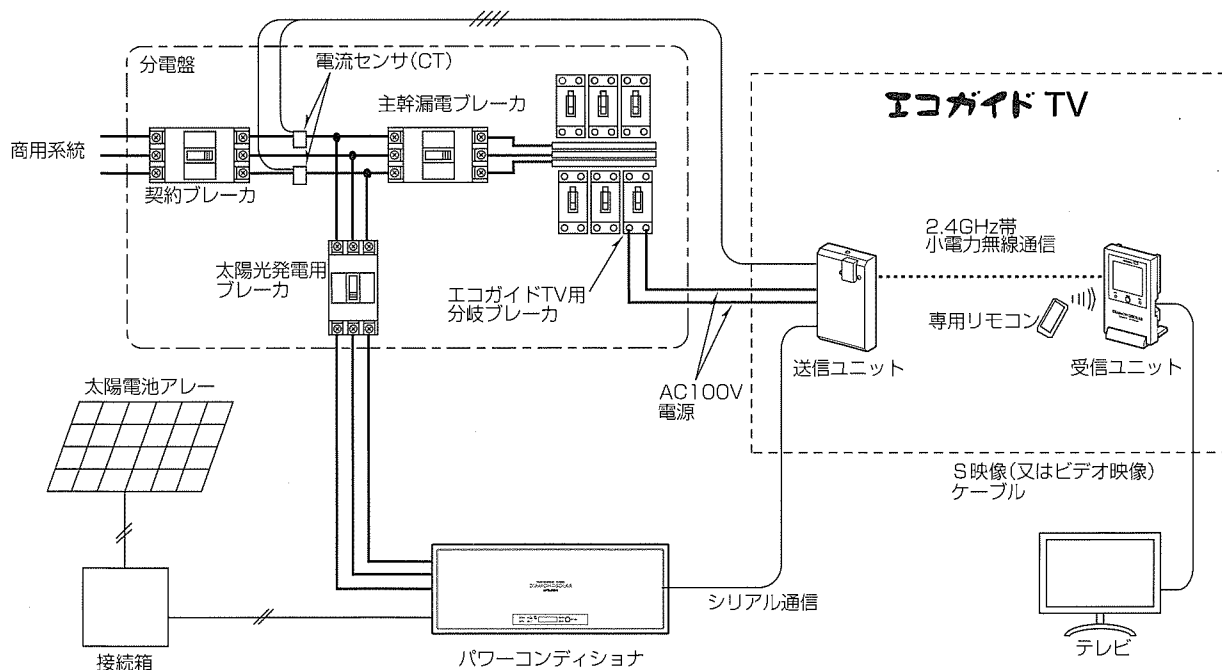


図1. エコガイドTVのシステム構成

れる。なおパワーコンディショナ2台までの通信を可能とした。シリアル通信による発電量データが取得できない当社製旧機種、他社製のパワーコンディショナに対しては、分電盤に接続されるパワーコンディショナの出力部にCT(図2のCT1, CT2)を設置し、発電電流のアナログ値を2台まで入力可能とした。すなわち、送信ユニットには最大4台のパワーコンディショナから発電電力情報を入力できるようになっている。

分電盤とパワーコンディショナから得られる電力情報は、無線モジュールによって受信ユニットに送信される。電波状況のよくない場所に備えて有線通信の回路も搭載した。

図3に送信ユニットの外観と主な仕様を示す。

### 2.3 受信ユニット

図4に受信ユニットのブロック図を示す。電源は家庭の電源コンセントから供給する。送信ユニットから無線通信

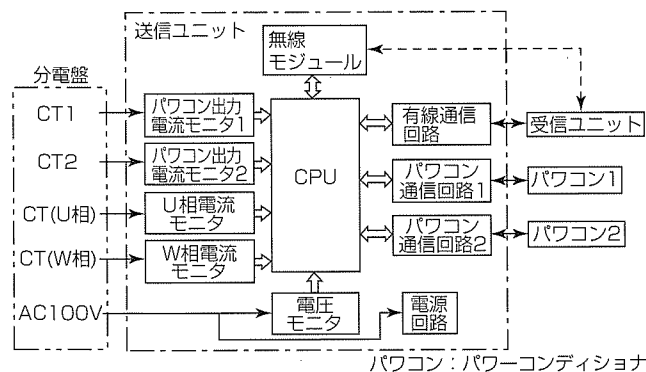


図2. 送信ユニットのブロック図



外形寸法 (W×D×H) (mm)	120×60×210
定格入力電圧	AC100V(50/60Hz)
消費電力	約3W
質量	0.9kg

図3. 送信ユニットの外観と主な仕様

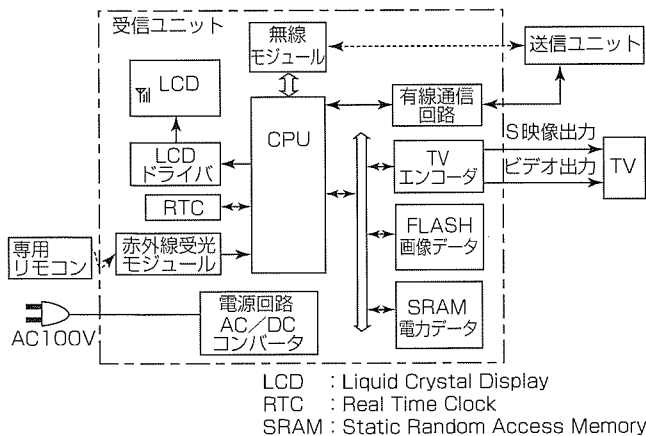


図4. 受信ユニットのブロック図

又は有線通信で受信した電力情報はCPUを介してメモリに蓄積され、TVエンコーダを通じてS映像出力又はビデオ出力でテレビ画面に表示される。テレビ画面の表示内容は、専用リモコンによって切り替えることができる。

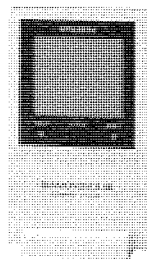
受信ユニット本体の液晶画面には、無線通信を行っている場合の電波強度を示すアイコンが表示され、電波強度を確認できるとともに発電情報も表示されるため、テレビを使用していないときでも発電電力や消費電力などの基本情報を確認することができる。

受信ユニットは台座が離脱できる構造にしたため、壁掛け専用スタンドとして壁への固定設置、床やテレビ台への据置きのどちらでも使用することができる。

図5に受信ユニットの外観と主な仕様を示す。

### 2.4 中継機

送信ユニットと受信ユニット間の距離が長い場合や設置フロアが異なるなどで受信電波が弱い場合は、エコガイドTV専用の中継機を使用して信号の中継増幅を行えるようにした。中継機は最大5台まで設置でき、送信ユニットと受信ユニットの間に設置される中継機は、それぞれ機器間の通信登録(ペアリング)を実施し、信号の干渉を防ぐ。図6に中継機2台を使用した場合の登録例、図7に中継機の外観と主な仕様を示す。



外形寸法 (W×D×H) (mm)	110×48×181
定格入力電圧	AC100V(50/60Hz)
消費電力	約2W
質量	0.5kg

図5. 受信ユニットの外観と主な仕様

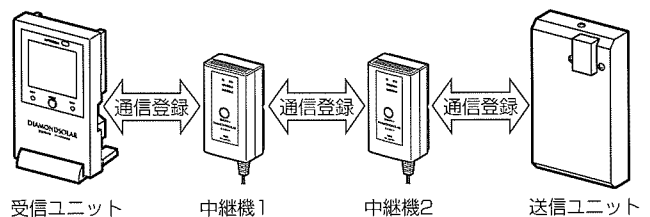


図6. 中継機2台を使用した場合の登録例



外形寸法 (W×D×H) (mm)	70×45×128
定格入力電圧	AC100V(50/60Hz)
消費電力	約2W
質量	0.4kg

図7. 中継機の外観と主な仕様

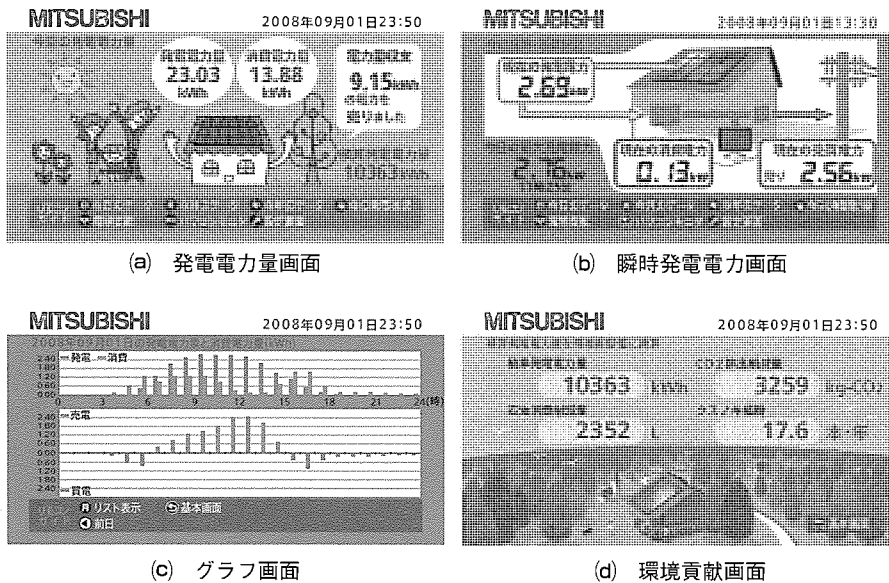


図 8. エコガイドTVの表示画面例

### 3. エコガイドTVの画面表示内容

エコガイドTVの主なテレビ表示画面を図8に示す。テレビ画面の下には“リモコンガイド”と称して、受信ユニット操作のリモコンボタンに対応するマークを表示した。使用者は同じマークのリモコンボタンを押すことで見たい画面に切り替えることができる。主な表示画面の内容について次に述べる。

#### (1) 発電電力量画面

発電電力量、消費電力量等を表示する。発電電力量に応じてキャラクターの表情が変化するので、イメージ的に分かりやすい。

#### (2) 瞬時発電電力画面

瞬時の発電電力、消費電力、売電電力などを確認できる。その日の最大発電電力と記録した時間を表示する。

#### (3) グラフ画面

発電電力量と消費電力量の1日分(時間帯別)、1か月分(日別)、1年分(月別)の推移を選択して棒グラフ表示でき、リモコン操作で前日、前月、前年への表示切替えも行うことができる。また、電力会社との売電量、買電量が一目でわかり、モードを切り替えることで数値リスト、電気料金

換算値も表示できる。電気料金への換算係数は使用者が変更することができる。

#### (4) 環境貢献画面

積算発電電力量をCO<sub>2</sub>排出削減量、石油消費削減量、楠植樹本数に換算して表示する。環境貢献係数は文献によって若干数値が異なるため、使用者が変更することができる。

### 4. む す び

当社は、住宅用太陽光発電システムの発電量モニタ装置として業界で初めてテレビ画面に表示するエコガイドTVを開発し、送信ユニットと受信ユニットを無線通信することで、設置の自由度を高めるとともに配線工事の手間、費用を削減した。

エコガイドTVは、太陽光発電システムの地球温暖化対策への貢献状況表示はもちろん、人々の環境に対する意識向上と、特に未来を担う子供たちに対する環境教育に十分効果を発揮するものと期待される。

今後当社は、太陽電池モジュール、パワーコンディショナなどの主要機器からモニタ類の付帯機器まで、一層の高性能高機能化に取り組んでいく所存である。



# 新型炭酸ガスレーザ加工機“HVⅡシリーズ”

加野潤二\*  
山奥弘晃\*

New CO<sub>2</sub> 2D Laser Processing System "HVⅡ Series"

Junji Kano, Hiroaki Yamaoku

## 要 旨

近年、国内・米国・欧州主要国でレーザ加工機の年間導入台数が増加しているが、加工品種の増大と製品サイクルの短縮化が進み、生産性向上や多品種小ロット生産への対応、長期安定稼働が求められている。このような市場の要求に対して三菱電機は、①段取り性向上、②生産性向上、③長期安定稼働によって設置後からすぐに最大パフォーマンスが得られる“Easy to use”機の実現を開発コンセプトとした“HVⅡシリーズ”を市場投入した。本稿ではHVⅡシリーズにおける各種技術について述べる。

### 【開発コンセプトを実現する各種技術】

#### (1) 段取り性向上技術

新型制御装置に当社CNC数値制御装置“M700シリーズ”を採用した。処理時間の短縮に加え、操作性向上、段取り

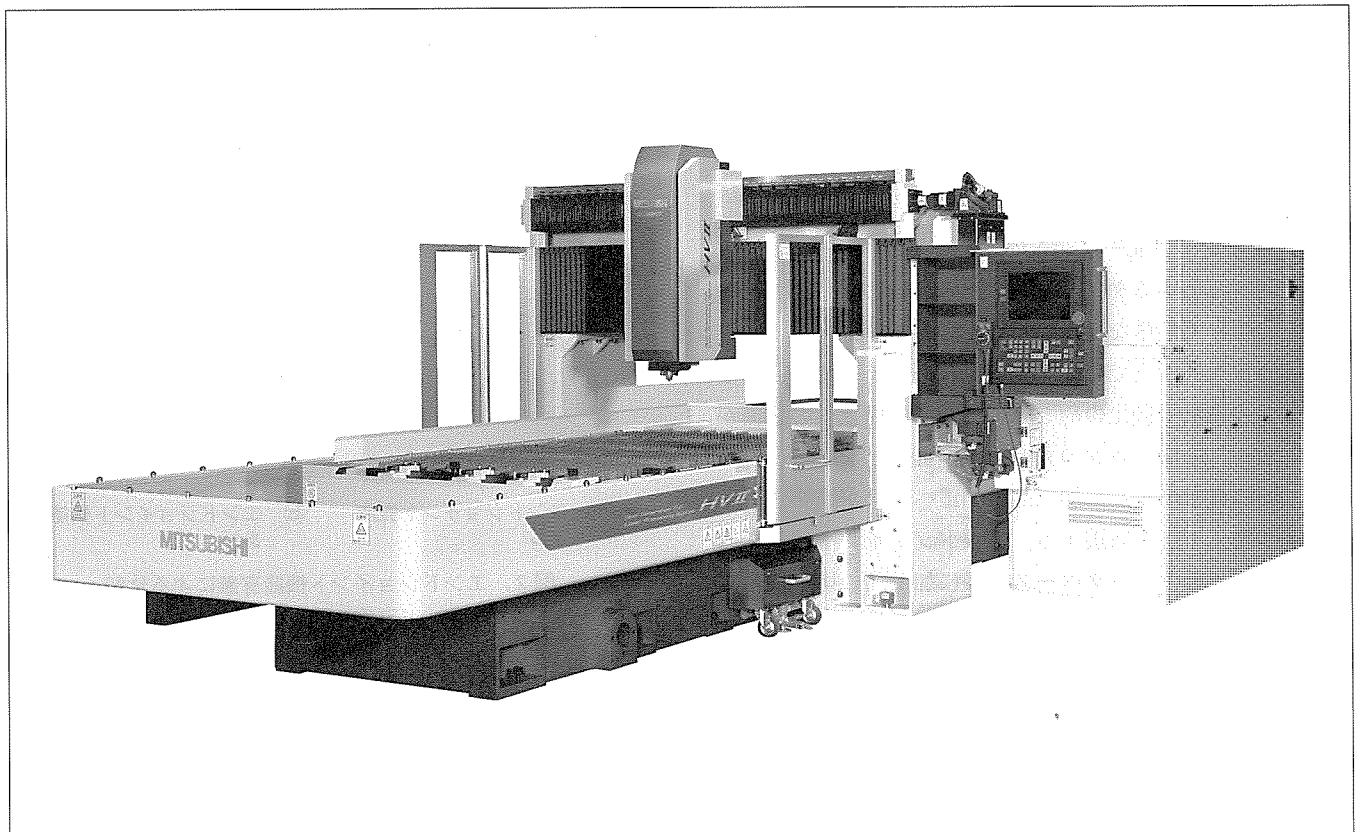
時間削減の技術などを盛り込んだ。また、調整作業の自動化、加工ノズル交換頻度削減技術、特殊材料加工時の段取り時間削減技術によって、更なる段取り性向上を実現した。

#### (2) 生産性向上技術

加工ヘッド上下移動の速度、加速度を向上、また加工ヘッド退避移動軌跡を最適化するアルゴリズムを開発し、加工時間を短縮した。軟鋼におけるピアシング方法の最適化による生産性向上も図られている。

#### (3) 長期安定稼働技術

レーザ加工機の状態を常に良好に維持するためのセルフチェック機能、部品故障などによる突発的な停止を防止するカルテ診断機能などの保守機能を充実させた。また、レンズ監視機能を標準装備、長期安定加工に寄与している。



## 最新型レーザ加工機“HVⅡシリーズ”

累計約1,000台の出荷台数を達成したベストセラー機“HVシリーズ”に新型制御装置を搭載し、段取り作業の削減、加工時間短縮による更なる生産性向上、保守機能の充実による長期安定稼働などの技術を盛り込んだ。

## 1. ま え が き

近年、国内や米国、欧州主要国における板金切断用加工機で、レーザ加工機の年間導入台数がタレットパンチプレス台数を大幅にしのぐ状況が続いている。このようにレーザ加工機の導入台数が増加した理由は、レーザ加工機の欠点であった大量生産性、ランニングコスト、厚板加工性などの技術分野で各種技術開発が進んだことによる。一方、加工品種の増大と製品サイクルの短縮化が進む中、レーザ加工機には更なる生産性向上や多品種小ロット生産への対応、長期間の安定稼働が求められている。

本稿では、このような市場の要求に対して当社が投入した新型炭酸ガス二次元レーザ加工機HVⅡシリーズについて述べる。

## 2. HVⅡシリーズの特徴

1章で述べた市場要求に対し、①段取り性向上、②生産性向上、③長期安定稼働によって設置後からすぐに最大パフォーマンスが得られる“Easy to use”機の実現をコンセプトとしてHVⅡシリーズを開発した。次にコンセプトを実現するための各種技術について述べる。

### 3. 段取り性向上技術

#### 3.1 新型制御装置と各種自動化機能

新型制御装置“LC30BV”には、高速CPU(Central Processing Unit)と15インチの大画面タッチパネル液晶を搭載した当社CNC数値制御装置M700シリーズを採用した。データ入出力にはUSB(Universal Serial Bus)ポート及びLAN(Local Area Network)インタフェースを標準装備した。画面インタフェースはNC関連製品群(レーザ、放電、NC)で統一しているタブ表現及びアイコンの採用などを踏襲し、見やすく簡単な操作を実現した。

制御装置の画面上での加工前の形状チェックでは、図1に示すように従来機比の約5%の時間で画面上への描画が可能となり、段取り時間の大幅短縮が可能となった。

加工中に立ち上がった加工品に加工ヘッドが衝突することによる加工停止を回避する、エンドジョイント機能を搭載した。加工条件データベースごとに加工品の切り残し距離を任意に設定可能としたことで、異なる材料・板厚でも

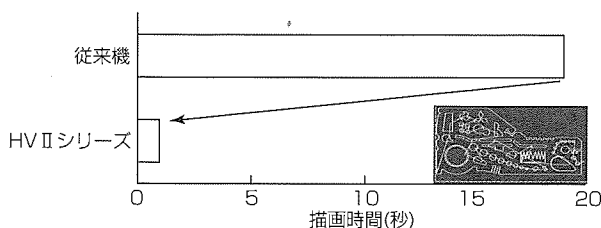


図1. 形状描画時間の比較

同一のNCデータで対応可能であり、プログラム管理の負荷を軽減した。さらに、加工条件ごとにエンドジョイント付加の有無を選択可能であるため、図2に示すように穴と外周などで適切なエンドジョイントの設定が可能である。

また、レーザ加工では材料・板厚などによって最適な加工レンズ焦点位置や加工ガス圧力が異なるため、加工前に調整作業が必要となる。焦点位置調整を自動化する自動焦点プリセット加工ヘッド、加工ガス圧力調整を自動化する高圧ガスNC制御(制御圧力2.5MPa)の標準装備<sup>(注1)</sup>によって、従来のレーザ加工機ではオペレータが材料・板厚などによって調整をしていた焦点位置や加工ガス圧力調整を自動化した。これによって、制御装置にあらかじめ材料ごとに登録されている加工条件を選択するだけで、加工機の調整作業はほぼ完了となり、段取り時間の短縮が可能となった。

(注1) 4kW発振器組合せ時

#### 3.2 加工ノズル交換削減技術

レーザ加工では、加工対象の材質・板厚によって加工ノズル径が異なる。段取り時間を削減するためノズル交換頻度の低減、又は自動連続運転を目的とした同一ノズルによる加工の要求が増えてきた。

そこで加工ノズルの交換頻度を削減する単一ノズル加工条件を開発した。単一ノズル加工条件とは、同一ノズルでノズル変更なしに加工可能な材質・板厚を拡大した加工条件である。ノズル種類の単一化は加工を難しくする場合があるが、アシストガス流量とパルス出力条件の最適化によって実現した。図3は単一ノズルで加工可能な対象を従来機と比較した例である。HVⅡシリーズでは切断対象の約80%をノズル交換なしに加工可能であり、従来機と比較してノズル交換頻度を約50%にまで削減した。

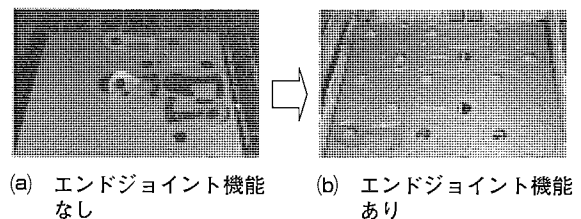


図2. エンドジョイント機能有無による比較

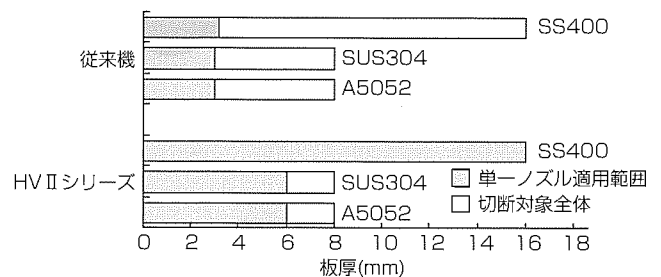


図3. 単一ノズル加工条件の適用例(発振器20CF3)

図4はHVⅡシリーズによる段取り性向上の効果について従来機と比較したものである。図中に示す3種類の材質・板厚・個数を加工する場合、自動化機能、ノズル交換削減技術によって段取り時間を含めたトータル加工時間を従来機と比較して約20%削減することが可能である。

### 3.3 加工対象の拡大(特殊材料加工)

レーザ加工機に標準条件として登録されている一般的な加工対象(軟鋼, ステンレス鋼, アルミ合金)以外の材質(以下“特殊材料”という。)を加工する場合、ユーザー自身で加工条件を作成する必要がある。多くは製品加工を開始するまでに多大な労力と時間を要し、多品種の加工を求める声が多い中、その段取り時間の改善要求が高くなってきた。

HVⅡシリーズでは多種多様な材質を対象に、特殊材料条件を加工機に標準登録した。また特殊材料を加工する場合の支援機能として、特殊材料加工ヘルプを新機能として搭載した。特殊材料加工ヘルプは、加工条件の微調整ノウハウや切断良否判断方法などを制御装置画面に表示するヘルプ機能であり、加工現場で直接参照することが可能である。図5は特殊材料である高張力鋼と炭素鋼の加工例を示したものである。特殊材料条件及び特殊材料加工ヘルプによって、特殊材料加工時の段取り時間の削減を実現した。

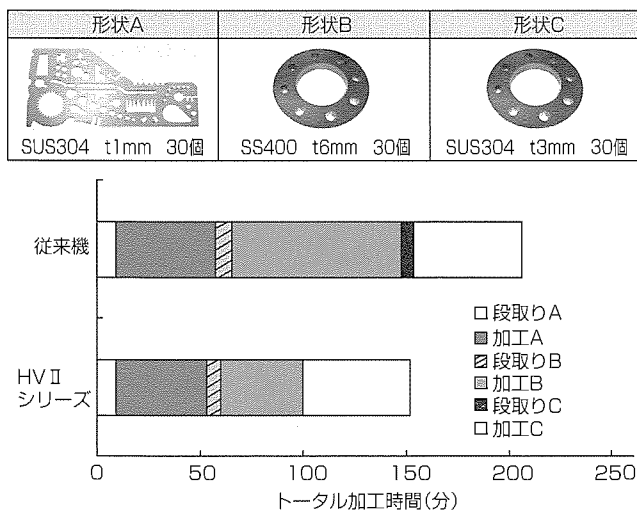


図4. トータル加工時間試算(発振器20CF3)

材質	高張力鋼(60キロハイテン)	炭素鋼(S45C)
板厚	9mm	9mm
切断面		
加工ノズル径	φ1.7	φ1.7
加工速度	1,300mm/min.	1,200mm/min.
面粗さRz(上面)	13μm	17μm
面粗さRz(下面)	37μm	30μm

図5. 特殊材料の加工例(発振器20CF3)

## 4. 生産性向上技術

### 4.1 加工ヘッド上下移動時間削減

レーザ加工では、加工終了後に加工品と加工ヘッドの接触を防止する退避移動及び次加工開始前に材料への倣い動作が必要であり、加工ヘッド退避及び倣い動作にはZ軸上下移動が伴う。この非加工時間を削減することによって、生産性を向上させることが可能となる。

Z軸については、サーボモータ“HFシリーズ”, ドライブユニット“MDS-Dシリーズ”を採用し、最新駆動技術の適用によって、従来比で移動速度を約2倍、加速度を約5倍に向上させた。また、加工ヘッド退避移動軌跡について加工終了点から次加工点への移動を最適化するアルゴリズムによる新倣い制御方式を開発し、更なる非加工時間の短縮が可能となった。図6は加工ヘッドの移動時間削減効果を従来機と比較したものである。軸高速化及び新倣い制御方式によって、約10%の加工時間短縮が可能となった。

### 4.2 ピアシング加工時間短縮

HVⅡシリーズでは中厚板以上の軟鋼におけるピアシング(開始点の穴あけ加工)方法の最適化によって、生産性向上が図られている。

#### 4.2.1 新ピアシング技術ブローピアス

板厚2.3~9mmの軟鋼では高出力で短時間にピアスする方式が従来用いられているが、HVⅡシリーズではサイドからエアを吹き付ける新ピアシング技術であるブローピアスを採用した。ブローピアスではサイドエアの噴射によって過剰な酸化反応を抑制し、更にピアス痕(こん)近傍の溶融物の除去を可能とし、従来方法と比較しピアス時間短縮と切断開始までのアプローチ時間の削減が可能となった。

図7は軟鋼9mmに対する適用効果を示したものであるが、ピアス動作1回の所要時間で従来ピアシング方法と比較して約50%の削減効果が得られている。

#### 4.2.2 新ピアシング技術ビートピアス

板厚9mm以上の軟鋼では新ピアシング技術であるビートピアスを採用した。ビートピアスは、当社発振器の特性である高矩形(くけい)パルス制御方式を生かした高ピーク出力の加工条件段階制御によって、従来ピアス同等の穴径を維持しながら、厚板領域のピアス時間短縮を実現した手

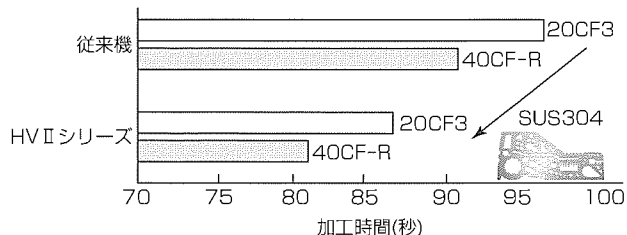


図6. 加工ヘッド移動時間削減による加工時間短縮(発振器20CF3, 40CF-R)

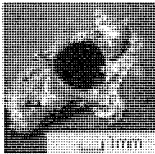
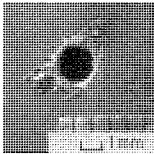
ピアシング方法	従来ピアシング	ブローピアス
ピアシング部 拡大写真		
ピアシング穴径	φ3mm	φ2mm
貫通時間	1.0秒	0.5秒
切断アプローチ時間	1.8秒	1.0秒

図7. ブローピアス適用効果(軟鋼9mm, 発振器40CF-R)

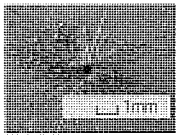
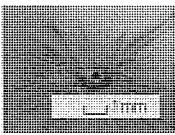
ピアシング方法	従来ピアシング	ビートピアス
ピアシング部 拡大写真		
ピアシング穴径	φ1mm	φ1mm
貫通時間	10秒	6秒

図8. ビートピアス適用効果(軟鋼12mm, 発振器40CF-R)

法である。図8は軟鋼12mmの適用効果を示したものであるが、従来ピアシング方法と比較して約40%の削減を実現している。

## 5. 長期安定稼働技術

### 5.1 セルフチェック機能とカルテ診断

HV II シリーズでは、レーザー加工機の長期安定稼働を支援するために、保守機能を充実させた。

セルフチェック機能は、発振器の真空ポンプオイルなどの消耗品や発振器のプロアなどの主要部品の使用経過時間をレーザー加工機への電源投入時にチェックし、交換周期に対するチェック結果を、図9に示すように制御装置画面に4段階(GOOD, OK, NG, STOP)で表示するものである。これによって、ユーザーに定期的なメンテナンスを促し、レーザー加工機の状態を常に良好に維持することができる。

カルテ診断機能は、加工機及び発振器の稼働データを定期的に採取し、レーザー加工機の使用負荷状況を診断する。この診断結果に基づき、レーザー加工機の負荷状況に応じて、

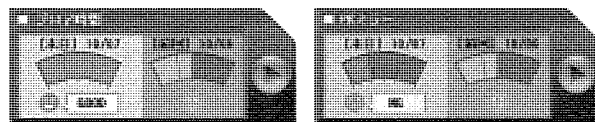


図9. セルフチェック機能画面の表示例

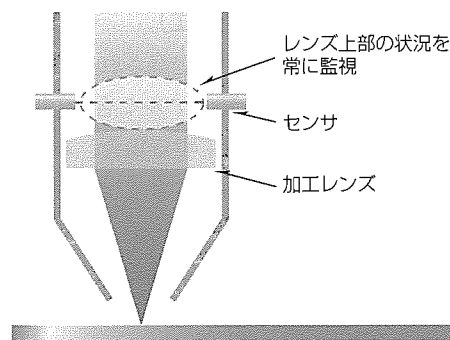


図10. 加工レンズ監視機能

メンテナンス計画や部品交換時期をユーザーに提案することによって、部品故障などによる突発的なレーザー加工機停止を防止することができる。

### 5.2 加工レンズ監視機能

発振器の高出力化に伴い、ステンレス鋼の無酸化切断など高出力・高圧加工ガスを必要とする加工が増加している。そのため、加工レンズへの負荷が増大する傾向にあり、加工レンズ破損による加工機停止に至る場合もある。

加工レンズ監視機能<sup>(注2)</sup>は、図10に示すように、センサで加工レンズ上部の状況を常に監視するものである。加工レンズ破損前の亀裂(きれつ)による極微量の飛散物をとらえて加工を停止させ、加工レンズ破損を防止することで加工安定性を向上させている。

(注2) 4kWとの発振器組合せ時のみ標準

## 6. む す び

“Easy to use”機である新型炭酸ガス二次元レーザー加工機HV IIシリーズの各種技術について述べた。今後も総合レーザーメーカーとして更なる性能向上を目指すとともに、生産現場からの各種ニーズに積極的にこたえていく所存である。

# 加速器の超コンパクト化技術

田中博文\*

Ultra-compact Palm-sized Accelerator

Hirofumi Tanaka

## 要旨

電子やイオンを高エネルギーまで加速する加速器の産業・医療利用を拡大させるためには、加速器をコンパクト化する必要がある。三菱電機は、本体外径が約15cmで電子を990keV(キロエレクトロンボルト)まで加速できる手のひらサイズの電子加速器“ラップトップ加速器”の原理実証用試作機を開発した。サイクロトロン加速とシンクロトロン加速を混成した独自のハイブリッド加速手法を用いることで、コンパクト化を実現することができた。従来の同じエネルギーまで加速できる加速器<sup>(注1)</sup>と比較して大きさ

(注1) 加速電界の周波数が約3GHzの線形加速器

が約1/8であり、実用化した場合の機器への組み込みや持ち運びが簡便になる。また、X線の発生点のサイズが従来の約1/10の10μmと小さいので、高精細な透視画像が撮影できるポテンシャルを持ち、X線の非破壊検査や、X線診断用の光源として期待される。特に従来のX線管球では難しい、300keV以上のX線をコンパクトな装置で発生できるという特長によって、新たな利用分野を拓く可能性がある。今後、大出力化・高信頼化技術を確認し、産業・医療利用のX線光源として実用化を目指していく。

$$P(\text{運動量}) = e \times B(\text{磁場}) \times R(\text{半径})$$



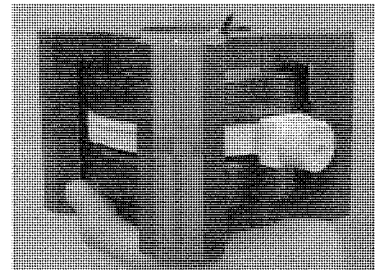
$$\frac{dP}{dt} = eR \frac{dB}{dt} + eB \frac{dR}{dt}$$

運動量増加 偏向磁場増加 偏向半径増加

変化させる変数	加速器の種類
偏向磁場	シンクロトロン
偏向半径	サイクロトロン
偏向磁場と半径	ラップトップ加速器

小型で比較的大電流ビームの加速が可能

ハイブリッド加速手法



加速粒子	電子
加速エネルギー	990keV
加速繰り返し	1kHz
周回電流(パルス)	5A
X線の光源サイズ	10μm
加速器本体寸法	(横) 15cm×(奥行き) 13cm×(高さ) 10cm

ラップトップ加速器

## ハイブリッド加速手法とラップトップ加速器

円形加速器では、エネルギーに関係する量である運動量は偏向磁場と偏向半径の積で表せる。従来の加速器では偏向磁場か偏向半径のどちらか一方のみを変化させていたが、当社独自のハイブリッド加速手法では両方を変化させる。この加速手法を用いたラップトップ加速器は、電子ビームの高エネルギー(990keV)加速を手のひらサイズで実現した。

\*先端技術総合研究所(工博)

## 1. ま え が き

加速器は、高エネルギーの荷電粒子(電子やイオン)を高エネルギー物理学の素粒子実験や原子核実験に用いるために開発されてきた。当初は実験室に入る大きさであったが、その後より高エネルギーの荷電粒子が必要とされるようになり、加速器の設置エリアが数kmにわたるような大型の加速器が建設され稼働している。また、加速器から発生する指向性の強いX線(放射光)や中性子ビームを用いて、材料研究や新薬研究等に用いられている。加速器の勃興(ぼっこう)期は、加速器を用いて実験を行う研究者が加速器の開発も実施していたが、加速器が大規模になるにつれて加速器専門の研究者が生まれ、更に加速器の機器ごとの高性能化に研究の中心が移ってきており、加速器開発者と利用者の分業が進んでいる。加速器利用側からのニーズによって考案された加速器の例としては、医療用器具や食品等の滅菌や殺菌用に開発された大出力の電子加速器<sup>(1)</sup>等があるが、あまり例がない。

本稿で述べるラップトップ加速器は、高輝度のX線を発生させるという一つの機能に絞り、加速器をできる限りコンパクトにするという方針で開発した新しい加速器である。

本稿では、最初に当社独自の加速手法であるハイブリッド加速手法について述べ、次にラップトップ加速器の構成と加速試験結果を、最後にX線の撮像結果について述べる。

## 2. ハイブリッド加速手法

加速器は線形加速器と円形加速器に大別される。線形加速器は直線状に並べた加速電極列に加速電界を励振し荷電粒子を加速する装置であり、円形加速器は荷電粒子を円軌道上に周回させながら、円軌道の一部に設置された加速電極を通過するときに荷電粒子を徐々に加速する装置である。円形加速器の中の一加速手法であるシンクロトロン加速は、何度も同じ加速電極を通過させるので低コストでコンパクトな装置を実現できるという特長を持つが、同じ軌道上を多周回させるので、荷電粒子間のクーロン反発力によってビームが発散し大電流加速が難しいという課題があった。一方、周回加速するごとに円軌道の半径を大きくし螺旋(らせん)軌道を形成するサイクロトロン加速は、クーロン反発力を抑制することができるが装置が大規模になるという課題がある。当社はこれらの円形加速器の課題を解決するために、ハイブリッド加速という新たな加速手法を考案した。次にその加速手法について述べる。円形加速器ではエネルギーに関係する量である運動量 $P$ は、電荷素量 $e$ 、偏向磁場 $B$ 、偏向半径 $R$ の積で表せる。よって、この関係式を時間 $t$ で微分した運動量の増加 $dP/dt$ は、次の式で表せる。

$$\frac{dP}{dt} = eR \frac{dB}{dt} + eB \frac{dR}{dt}$$

従来の円形加速器では、加速とともに偏向磁場 $B$ か偏向半径 $R$ のいずれかを変化させていた。例えばシンクロトロンやベータトロンでは、加速中に偏向磁場 $B$ を変化させ偏向半径 $R$ は一定で加速を行うが、サイクロトロンやFFAG(Fixed Field Alternating Gradient)加速器では、偏向磁場 $B$ が一定で偏向半径 $R$ を変化させ加速を行う。当社が考案したハイブリッド加速手法<sup>(2)</sup>は、偏向磁場 $B$ と偏向半径 $R$ の両方を変化させる。具体的には、加速初期には偏向半径 $R$ を徐々に大きくし幅の広いビームを周回させることで、低エネルギー時に大きな影響があるクーロン反発力の効果を抑える。その後は偏向磁場 $B$ を加速とともに強くしていき、偏向半径 $R$ の拡大を抑制する。ラップトップ加速器はハイブリッド加速手法を採用している。

## 3. ラップトップ加速器

図1にラップトップ加速器の本体外観を示す。また表1にラップトップ加速器の基本パラメータを示す。加速器本体は全幅15cm、高さ10cm、質量10kgと手のひらに載る程度にコンパクト化することができた。同等エネルギーまでの加速を行う従来の線形加速器では、全長が100cm、質量350kg程度であり、ラップトップ加速器は従来と比べてオーダーレベルのコンパクト化が実現できた。また、加速器を駆動する電源の大きさも、従来の加速器の60×160×80cm<sup>3</sup>、質量360kgに対して、35×60×45cm<sup>3</sup>、質量40kgとコンパクト化できた。

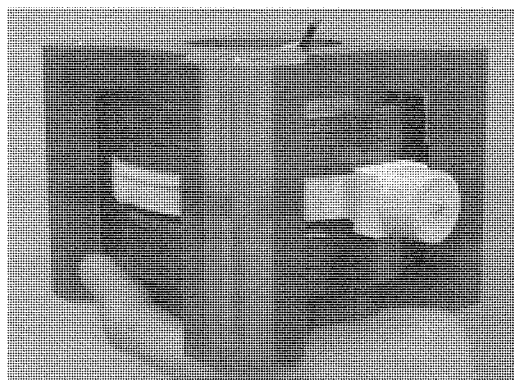


図1. ラップトップ加速器の外観

表1. ラップトップ加速器の基本パラメータ

加速粒子	電子
加速手法	ハイブリッド加速(誘導加速)
加速エネルギー	990keV
入射エネルギー	30keV
加速繰り返し	1 kHz
周回電流(パルス)	5 A
X線の光源サイズ	10μm
加速器本体寸法	(横)15cm×(奥行き)13cm×(高さ)10cm
質量	10kg

図2にラップトップ加速器の構成機器を示す。電子銃で発生した電子ビームはドーナツ状の真空ダクト内の矢印方向に出射され、偏向電磁石で曲げられて真空ダクト内の図中斜線領域を数十万周回しながら誘導加速によって徐々に加速される。最高エネルギーまで加速したあと、電子ビームの周回軌道の半径を徐々に小さくし、真空ダクトの内側に配置したX線ターゲットに電子ビームを徐々に衝突させることで、衝突方向に微小光源サイズのX線を発生させることができる。

本体の構成機器、電子銃電源、偏向電磁石電源は、従来の加速器と大きく異なる特殊仕様であるため、すべて新規に設計・製作を行った。

電子ビームは電子銃で発生させる。電子銃はエネルギー30keVの熱電子放出タイプであり、カソードはニッケルに酸化カソードを塗布したタングステンのヒーター2個で加熱する構成である。酸化カソード面を凹型に湾曲させることで、鋭く絞られた電子ビームを発生させることができる。電子銃で発生した電子が1周回したあとで電子銃のアノード部に衝突しないように、カソードとアノード間の距離をできるだけ接近させ、30kV/mmの強電界をかける。電子銃高圧電源は電圧30kV、パルス幅2μs、繰り返し1kHzのパルス電圧を発生させるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 駆動のトランス昇圧型電源である。

偏向電磁石は、4つの磁極と加速器中心部の加速コアが一体となった構成である。磁極材料は、表面が絶縁された鉄粉を圧縮成型した軟磁性材料を用いており、渦電流が小さく、繰り返し1kHzの交流運転が可能である。偏向電磁石の磁場強度が約0.2T、加速コアの磁場強度が約0.6Tである。電子ビームは4つの偏向電磁石の出入口部での漏洩(ろうえい)磁場を用いてビーム収束を行う強収束系であり、偏向半径が異なる広い領域でベータatron振動数がほぼ一定となるように、偏向電磁石境界部の磁極形状を工夫している。電磁石の主コイルは4つの偏向電磁石と加速コアで共通コイルとしている。電子銃から出た電子ビームを周回

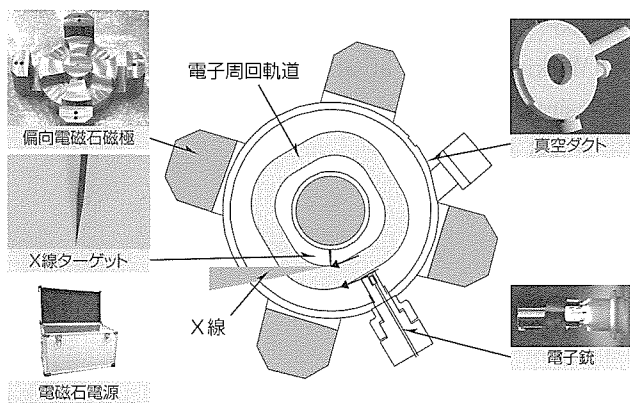


図2. ラップトップ加速器の構成機器

軌道に入射させ、かつ、加速した電子ビームをX線ターゲットに衝突させるために用いる入射・出射コイルを偏向電磁石の1つの磁極表面に設置している。

偏向電磁石の主コイルには、100A/200Vで繰り返し1kHzの交流電流を流す必要がある。工夫しないと20kWの大型の電磁石電源が必要となり、高コストになる。偏向電磁石のコイルではほとんど電力をロスしないことに着目し、コイルと並列にコンデンサを配置しLC共振回路とし、電力ロス分だけを偏向電磁石電源から供給する共振型電源を製作した。これによって、1kW未満の電磁石電源で前に述べたスペックの電流を主コイルに流すことが可能となった。

真空ダクトはマシナブルセラミックで製作し、ダクト内面は電子ビームが衝突しても電荷が蓄積しないように導電性コーティングを行った。真空ダクトの肉厚は、最も薄い位置で1mmとした。真空ポンプは、原理実証機では外付けのターボ分子ポンプを用いた。実用化時には真空ダクトを強化ガラス等で製作し、真空ダクト内部に吸着ポンプを設置して封着する予定である。

X線ターゲットは、先端の直径が7μmの針状のタングステンを用いた。電子ビームの周回軌道を内側に移動させると、約2万周回する間に徐々にX線ターゲットに電子ビームが衝突し、X線が発生する。

図3にラップトップ加速器の加速波形とX線検出器の出力波形を示す。オシロスコープ波形の上から、X線測定器出力、偏向電磁石励磁電流、電子銃高圧電源電圧、入射・出射用電磁石励磁電流である。偏向電磁石励磁電流が電子ビームの加速エネルギーとほぼ比例の関係にある。X線測定器はシンチレーションモニタを用いており、X線の出力が大きいほどオシロスコープの負側(図の下側)に大きな出力となる。X線測定器出力は電子ビームが入射されるタイミングで若干発生し、X線ターゲットに衝突させるために出射用電磁石を励磁したタイミングで強いX線が発生していることがわかる。

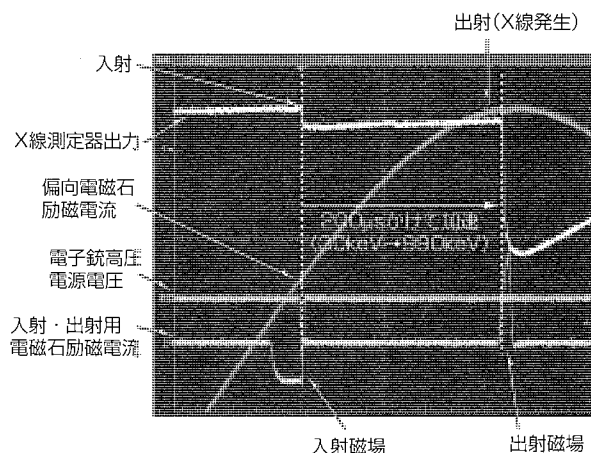


図3. ラップトップ加速器の加速波形とX線検出器でのX線強度波形

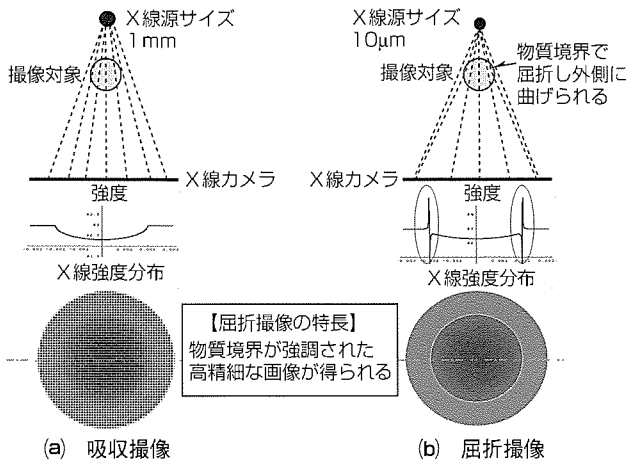


図4. 直径1mmの水滴のX線解析画像

#### 4. X線撮像実験

X線による透視法は、胸部X線写真のように透視対象のX線吸収率の差で生ずる濃淡を利用した吸収撮像が一般的であるが、近年ではX線の屈折率の差で生ずるわずかな屈折を利用した屈折撮像が注目を集めている<sup>(3)</sup>。屈折撮像は従来の吸収撮像と比較して物質境界がくっきり見え、吸収撮像ではほとんど区別がつかなかった臓器中の組織差や微小がんが検出できる可能性があり、医療診断での利用が期待されている。屈折撮像を行うには、光源点の位置を明確化する必要があり、X線光源の発生点径が小さいか、又は平行にそろったX線が必要であり、従来は装置の大きさが数百mと大きい放射光施設での実用研究が中心であった。ラップトップ加速器は先端が7μmの針状のX線ターゲットに加速した電子ビームを徐々に衝突させ、発生点径が10μmのX線が発生可能であり、屈折撮像が可能なX線光源である。

図4に直径1mmの球状水滴のX線撮像シミュレーション画像の一例を示す。左側がX線の光源サイズが1mmの場合、右側が10μmの場合である。光源サイズが大きいときには、物質に遮られた部分のX線強度が弱くなる吸収画像である。一方、光源サイズが小さいときには、物質境界の屈折効果によって境界部のX線が若干外側に曲げられるので、境界部より少し外側のX線強度が強くなり、少し内側のX線強度が弱くなる。このような仕組みで物質境界のコントラストが高い画像を得ることができる。

図5の右上の写真は、ラップトップ加速器で発生したX

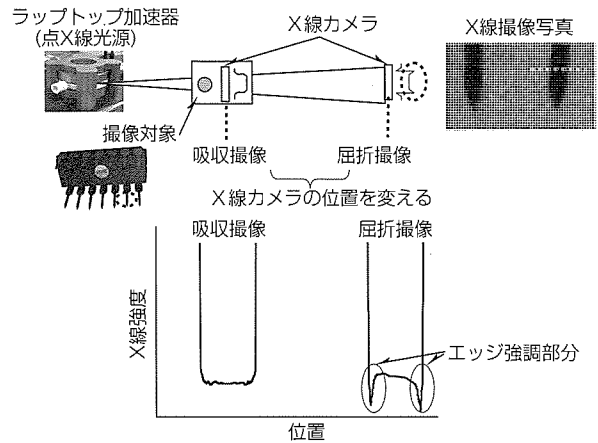


図5. X線撮像写真とX線の強度分布

線を用いて幅0.5mmの半導体のリードフレーム部分(はんだ付けをする足の部分)を撮影した写真であり、下のグラフは吸収撮像と屈折撮像の両方の撮像条件でX線画像の点線部分のX線強度分布をグラフ化したものである。屈折撮像ではリードフレームの境界部分がエッジ状に強調された強度分布になっていることがわかり、境界部がくっきりしたX線撮像が可能であることを確認することができた。

#### 5. むすび

当社独自のハイブリッド加速手法を用い、電子ビームを990keVの高エネルギーまで加速できるラップトップ加速器の原理検証用プロト機を試作した。実験の結果、990keVまでのビーム加速試験と屈折撮像特有の境界部が強調されたX線撮影に成功した。今後、ラップトップ加速器の信頼性や大出力化技術を確立し、産業・医療利用のX線光源として実用化を目指していく予定である。

#### 参考文献

- (1) Pottier, J.: A new type of rf electron accelerator, Nucl. Instr. and Meth. B 40/41, 943~945 (1989)
- (2) Tanaka, H., et al.: Hybrid Accelerator using an FFAG Injection Scheme, The 17th International Conference on Cyclotrons and their Applications, 465~467 (2004)
- (3) Wilkins, S.W., et al.: Phase-contrast imaging using polychromatic hard X-rays, Nature 384, 335~338 (1996)





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

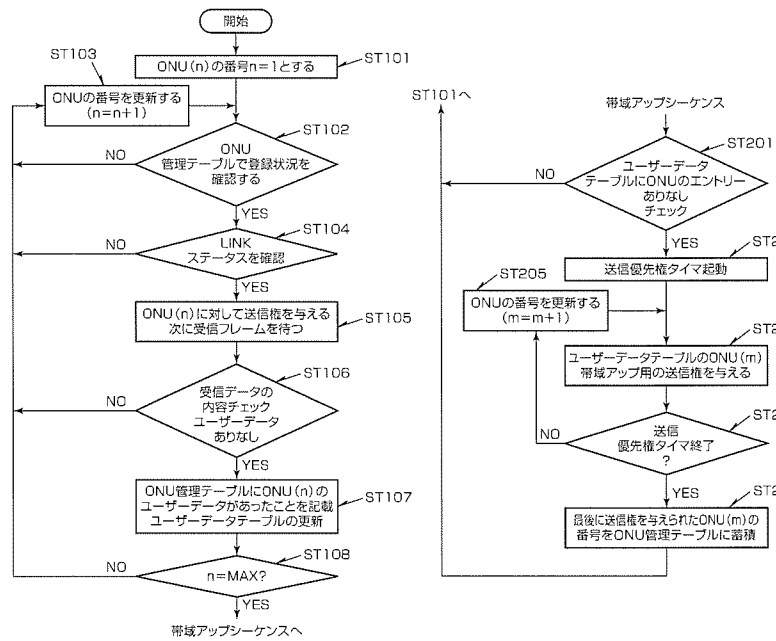
有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## PONシステム 特許第4216123号

発明者 小島洋之

この発明は、可変長のIP(Internet Protocol)パケットデータをPON(Passive Optical Network)上でポーリング方式で通信する際に帯域非保証型のサービスを、より簡易で効率的に提供するPONシステムに関するものである。従来は、親局装置(OLT)が子局装置(ONU)から受信する送信要求パケット信号を解析して、パケット量に応じた占有時間だけONUへ送信許可信号を送出するようにしていたため、OLTは複雑な処理機能が必要であり、配下に複数のONUが存在した場合、処理輻輳(ふくそう)状況では送信許可を公平に与えられない問題があった。この発明では、ONUからの送信要求を送信要求パケットによって行うのではなく、OLTから与えられる送信許可に対する応答信号に、毎回UNIの接続状態等の情報を付加して通知することで、伝送帯域を有効利用すると共に、OLT側で複雑なパケット解析機能を行わずに優先的に送信許可を与えるONUを判別する仕組みを実現する。

またOLT側では各ONUの送信時間を計測するタイマを具備しスケジュール化することで、一定時間内には必ず全ONUの通信状態を確認し、送信許可の公平性を保つことが可能なPONシステムを得ることができる。



## 送信電力制御方式 特許第3291199号

発明者 鈴木邦之

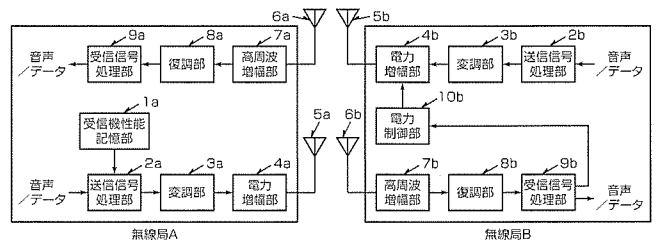
この発明は、セルラ方式の移動通信システムにおける送信電力制御方式(基地局及び移動局における受信レベルを一定とするように送信機の送信電力を制御する技術)に関するものである。

あらかじめ定めた量だけ増減させる第二の手段と、を設けたものである。

従来の送信電力制御方式では、第一に制御が複雑になるという問題点があった。また、第二に多種の移動局・基地局が存在するため、基地局配置決定は受信機性能が最悪時を考慮して行う必要があるため、必要以上の電力を送出して周波数の有効利用が図れないという問題点があった。さらに、第三に信号対干渉雑音比を求める処理は移動体特有の激しいフェージング下では長い計測時間をかけないと十分な精度が得られないという問題点があった。

これによって、伝送路を予測する必要がないため簡易な制御が実現できる。また、基地局配置を決定する際に、様々な機種に対応した受信機性能を考慮しないで済むため、簡便な方法で周波数の有効利用を図った配置を決められる。さらに移動体特有のフェージングを受けない送信電力制御であるため十分な精度を高速に得られる。

この発明は、基地局又は移動局の受信機内に、通信相手局から送信された通信相手局の受信機種別を検出する第一の手段と、受信機種別に応じて、自局送信機の送信電力を





# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 監視用画像処理装置 特許第3824934号

発明者 磯部修一

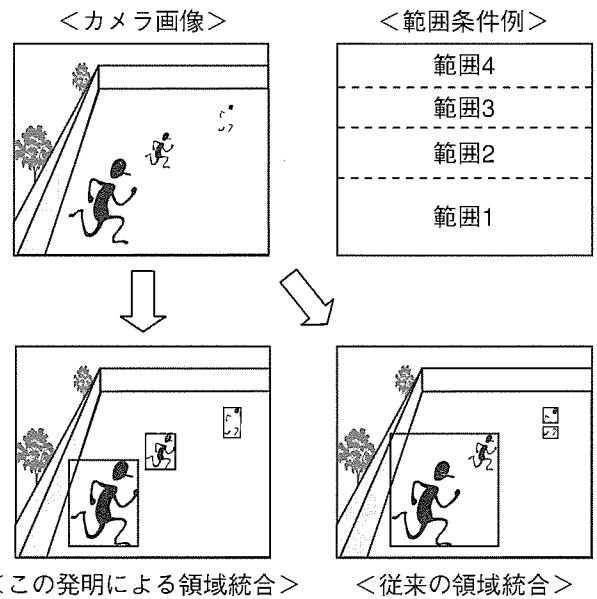
この発明は、カメラ映像から自動で侵入者を検出し、アラーム出力する監視用画像処理装置に関するものである。

画像から侵入者を検出する際、過去画像からの輝度変化を検出しているが、その変化領域は様々な要因によって複数に分断されるため、分断された領域を統合(領域統合)し、侵入者のシルエットに近づける処理を行う。

従来の領域統合方法は、カメラ視野内の遠近差を意識せず領域統合していたため、侵入者以外の変化領域を巻き込んだ過大な領域統合(過統合)や、必要な変化領域の統合を損ねる過小な領域統合(失統合)が行われ、その結果、侵入者のシルエットが不完全となり、装置の監視精度を低下させていた。

この発明の領域統合方法は、カメラ視野内の遠近差を意識した範囲条件を付加し、変化領域の大きさや存在場所に依じて領域統合条件を変動するよう構成し、過統合や失統合を防止した。これによって、遠近にかかわらず侵入者の変化領域を正確に統合し、侵入者のシルエットが正確に把

握できるようになり、監視用画像処理装置の誤検知や不検知が低減し、高精度な侵入者監視を提供できる。



### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.83 No.7 特集「グリーンITソリューション」

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 高桑 聖</p> <p>委員 小林智里 増田正幸 島中恵司 石田佳菜恵 戸田明男 世木逸雄 江頭 誠 河合清司 種子島一史 安井公治 石川哲史 光永一正 河内浩明 橋高大造</p> <p>事務局 園田克己</p> <p>本号取りまとめ委員 鳥羽浩史</p>	<p>三菱電機技報 83巻6号 2009年6月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2009年6月25日 発行</p> <p>編集人 高桑 聖</p> <p>発行人 園田克己</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&amp;サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641</p> <p>定 価 1部945円(本体900円) 送料別</p>
<p>三菱電機技報 URL</p> <p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先</p>	<p>URL <a href="http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/">http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/</a></p> <p>URL <a href="http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html">http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html</a></p>
<p>英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます</p>	<p>URL <a href="http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/">http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/</a></p>